

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Elaboración de un sistema alternativo no invasivo que permita optimizar las líneas de transporte público

MEMORIA

Autor:	Torres Durall, Antonio
Director:	Eguia Gómez, Jose Luis
Codirector:	Solano Albajes, Lluís
Convocatoria:	Julio 2019

**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Resumen

El transporte público es uno de los elementos vitales para la correcta gestión del tráfico en las zonas urbanas. Su correcto funcionamiento ofrece a los ciudadanos una alternativa al transporte privado, reduciendo así la cantidad de vehículos circulando y por lo tanto la emisión de gases contaminantes.

Es necesario pues un sistema para optimizar el uso de estos transportes, para que el servicio sea capaz de satisfacer la demanda de los usuarios en todo momento sin malgastar fondos públicos. Para ello se utilizan ciertas herramientas predictivas que utilizan información obtenida con anterioridad para planificar cómo debe ser el servicio en cada ocasión. Cuanto más extensa y concreta sea esta información mejor podrá ser el servicio ofrecido, por lo que es necesario invertir recursos en la obtención de estos datos.

Uno de los medios de transporte público más utilizado es el autobús, en el cual actualmente se utilizan diferentes medios para saber cuándo un pasajero sube al vehículo y se realizan encuestas periódicas sobre el servicio, pero no existe un sistema fiable para saber dónde sube y baja cada usuario. Este tipo de información resultaría de gran utilidad a la hora de realizar predicciones futuras para así ofrecer un mejor servicio a los ciudadanos.

El objetivo de este Trabajo Final de Grado es la elaboración de un dispositivo capaz de proporcionar este tipo de información de la forma más útil posible. Para ello se propone el uso de *Sniffers* (dispositivos capaces de detectar las señales WiFi a su alrededor) para recopilar información sobre los teléfonos móviles de los pasajeros. Este proceso no invade la privacidad de los ciudadanos, ya que los únicos datos que se van a obtener están relacionados con la proximidad del teléfono, la cual se relaciona con la ubicación del autobús y las diferentes paradas a lo largo del recorrido .

Así pues, se ha creado el prototipo de un dispositivo capaz de generar información sobre los usuarios del servicio de autobuses, preparando los datos para un futuro análisis que permita mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Resum

El transport públic és un dels elements vitals per la correcta gestió del tràfic en les zones urbanes. El seu correcte funcionament ofereix a la ciutadania una alternativa al transport privat, reduint així la quantitat de vehicles circulant i per tant l'emissió de gasos contaminants.

És necessari doncs un sistema per optimitzar l'ús d'aquests transports, per tal que el servei sigui capaç de satisfer la demanda dels usuaris en tot moment sense malgastar fons públics. Per tal d'aconseguir-ho s'utilitzen certes eines predictives que utilitzen informació obtinguda amb anterioritat per planificar com ha de ser el servei en cada ocasió. Com més extensa i concreta sigui aquesta informació millor podrà ser el servei ofert, pel que és necessari invertir recursos en l'obtenció d'aquestes dades.

Un dels mitjans de transport públic més utilitzats és l'autobús, en el qual actualment s'utilitzen diferents eines per saber quan un passatger puja al vehicle i es realitzen enquestes periòdiques sobre el servei, però no existeix un sistema fiable per saber on puja i on baixa cada usuari. Aquest tipus d'informació seria de gran utilitat a l'hora de realitzar prediccions futures per oferir així un servei millor als ciutadans.

L'objectiu d'aquest Treball Final de Grau és l'elaboració d'un dispositiu capaç de proporcionar aquest tipus d'informació de la manera més útil possible. Amb aquesta finalitat es proposa l'ús de *Sniffers* (dispositius capaços de detectar les senyals WiFi al seu voltant) per recopilar informació sobre els telèfons dels passatgers. Aquest procés no envaeix la privacitat dels ciutadans, ja que les úniques dades obtingudes seran relacionades amb la proximitat del telèfon, la qual es relaciona amb la ubicació de l'autobús i les diferents parades al llarg del recorregut.

Així doncs, s'ha creat el prototip d'un dispositiu capaç de generar informació sobre els usuaris del servei d'autobusos, preparant les dades per a un futur anàlisi que permeti millorar la qualitat de vida dels ciutadans.

Abstract

Public transport is one of the main points regarding correct management of traffic in urban areas. Its proper working offers citizens an alternative to private transport, reducing the amount of vehicles in the area and therefore the emission of polluting gases.

There is a need of a system to optimize the use of this transport, to make the service able to satisfy the user demand at all times without wasting public funds. With this goal certain tools have been used to obtain information and plan how the service must be in each occasion. The bigger amount and more precise the information the better the offered service can be, so it is necessary to invest in ways of obtaining better data.

One of the main means of public transport is the bus, in which nowadays different systems are used to know when a passenger gets on the vehicle, and periodic polls are conducted. However, it does not exist a reliable way to know when and where each user gets out of the vehicle. This kind of information would be very useful to predict the future needs of the service and improve it.

The goal of this Final Degree Project is the creation of a prototype able to provide this kind of information in the most useful way possible. For this, the use of *Sniffers* (devices able to detect the WiFi signals around them) in order to gather information about passengers' mobile phones is evaluated. This process does not invade their privacy, as it only collects data about the phone's position to contrast it with the bus and bus stops locations.

Thus, the prototype of a device capable of generating information about the bus service users has been created, creating data ready for a future analysis that will improve citizens' quality of life.

Índice

Resumen.....	3
Resum.....	4
Abstract.....	5
Índice.....	7
1. Prefacio.....	10
1.1. Origen del proyecto y motivación.....	10
1.2. Conocimientos previos.....	11
2. Introducción.....	12
2.1. Objetivos del proyecto.....	12
2.1.1. Objetivos generales.....	12
2.1.2. Objetivos específicos.....	12
2.2. Alcance del proyecto.....	13
3. Situación actual.....	14
3.1. Observaciones de los trabajadores y análisis de datos.....	15
3.2. Entrevistas periódicas a los usuarios.....	16
3.3. Departamento interno de TMB.....	16
4. Posible mejora utilizando <i>Big Data</i>	17
4.1. <i>Big Data</i> y movilidad.....	18
4.2. Requisitos y limitaciones.....	19
4.2.1. Consideraciones previas.....	19
4.2.2. Requisitos.....	20
4.2.3. Legalidad.....	21
4.3. Estudio de usuario.....	22
4.4. Alternativas de diseño.....	23
4.4.1. Infrarrojos.....	25
4.4.2. Cámaras.....	27
4.4.3. Sniffer.....	28
4.4.4. Tabla comparativa.....	28
5. Desarrollo del prototipo.....	29
5.1. Uso de <i>Sniffers</i> en la actualidad.....	29
5.2. Elección de componentes.....	30
5.2.1. Procesador y chip.....	30
5.2.1.1. Placa NodeMCU con chip esp8266.....	31
5.2.2. Ubicación.....	32
5.2.3. Almacenamiento de datos.....	32
5.3. Programación y construcción.....	33
5.3.1. Configuración del <i>Sniffer</i>	33
5.3.2. Configuración del módulo GPS.....	35
5.3.3. Almacenamiento.....	36
5.3.3. Combinación y problemas surgidos.....	37
5.3.3.1. Conexiones.....	37
5.3.3.2. Problemas de reset.....	39

5.3.5. Bateria.....	41
5.3.6. Posición dentro del vehículo y carcasa.....	42
5.3.7. Esquema del prototipo.....	44
6. Pruebas con el prototipo.....	45
6.1. RSSI.....	45
6.2. Obtención de datos.....	45
6.2.1. Prueba de campo en Barcelona.....	45
6.2.2. Prueba de campo en Viena.....	47
7. Presupuesto e impacto medioambiental.....	49
7.1. Presupuesto.....	49
7.2. Impacto ambiental.....	50
8. Conclusiones y futuros proyectos.....	51
8.1. Conclusiones.....	51
8.2. Futuros proyectos.....	53
9. Agradecimientos.....	54
10. Bibliografía.....	55
10.1. Referencias bibliográficas.....	55
10.2. Bibliografía complementaria.....	56
11. Anexos.....	60
11.1. Encuesta EMEF 2017.....	60
11.2. Documentación del Hardware.....	64
11.2.1. Placa NodeMCU.....	64
11.2.2. Módulo GPS.....	65
11.2.3. Lector de SD.....	66
11.2.4. Cargador LiPo USB.....	67
11.2.5. Bateria de litio de 900mAh.....	68
11.3. Diagramas del prototipo.....	69
11.4. <i>Scripts</i> arduino.....	71
11.4.1. <i>Script</i> : “Basic ESP8266 WiFi frame capture”.....	71
11.4.2. <i>Script</i> : “TinyGPS Example”.....	74
11.4.3. <i>Script</i> : SD.....	78
11.4.4. <i>Script</i> prototipo.....	79
11.4.5. Estudio RSSI.....	84

Índice de figuras

Figura 1: Datos sobre el uso de diferentes transportes públicos en 2018, ofrecidos por TMB en su portal informático.....	15
Figura 2: Ejemplo de perfil de usuario mayoritario según el medio de transporte, Informe EMEF 2017.....	16
Figura 3: Tabla de requisitos del dispositivo.....	20
Figura 4: Árbol de funciones del dispositivo.....	23
Figura 5: Árbol de errores del dispositivo.....	23
Figura 6: Ejemplo de sensores infrarrojos, esquema ofrecido por la empresa BEA en su plataforma web.....	25
Figura 7: Sensores de barra de infrarrojos para el conteo de pasajeros, diseño de Ak Industronic.....	26
Figura 8: Pros y contras del uso de infrarrojos en las puertas.....	26
Figura 9: Influencia de hardware y software en los datos usando cámaras.....	27
Figura 10: Pros y contras del uso de cámaras.....	27
Figura 11: Pros y contras del uso de <i>Sniffers</i>	28
Figura 12: Tabla comparativa de elaboración propia entre las opciones valoradas.....	28
Figura 13: Modelo de Raspberry Pi.....	30
Figura 14: Tabla comparativa entre modelos de arduino.....	31
Figura 15: NodeMCU con chip esp8266.....	31
Figura 16: Monitor serie utilizando el <i>script Sniffer</i>	33
Figura 17: Esquema sobre los diferentes canales WiFi.....	34
Figura 18: Información relevante ofrecida por el GPS.....	35
Figura 19: Ejemplo en el que el GPS todavía no ha establecido conexión con el satélite...35	
Figura 20: Numeración de los pines de la placa NodeMCU.....	37
Figura 21: Esquema de conexiones.....	38
Figura 22: Prototipo con todos los módulos conectados: la placa NodeMCU, el módulo de la tarjeta SD, el módulo GPS y la antena cerámica del GPS.....	38
Figura 23: Ejemplo de reset.....	39
Figura 24: Esquema del funcionamiento de un <i>watchdog</i>	39
Figura 25: Fragmento de archivo creado por el prototipo.....	40
Figura 26: Ubicación del dispositivo dentro del autobús, en la parte superior izquierda.....	42
Figura 27: Carcasa provisional elegida para el proyecto. Tiene el tamaño adecuado, es ligera y además permite la ventilación del interior.....	43
Figura 28: La carcasa con todos los elementos dentro y las conexiones realizadas: módulo SD, antena cerámica, módulo GPS, placa NodeMCU, batería de litio y cargador LiPo USB.....	43
Figura 29: Esquema de conexiones.....	44
Figura 30: Datos sobre la ocupación de la línea H6 realizando recuento manual.....	46
Figura 31: Datos sobre la ocupación de la línea H6 utilizando los datos del <i>Sniffer</i>	46
Figura 32: Datos sobre la ocupación media de la línea 59A, obtenidos del estudio a lo largo de 5 días laborables.....	47
Figura 33: Información sobre la ocupación de la línea 59A utilizando los datos del <i>Sniffer</i>	47

1. Prefacio

El trabajo realizado está integrado en un proyecto que abarca dos fases distintas.

Una primera fase que corresponde al diseño del sistema y prototipo encargado de recoger los datos deseados (realizada por Antonio Torres, la memoria en la cual se integra este prefacio) y la segunda fase encargada del análisis y estudio de estos (realizada por Guillem Pérez Bartolomé).

El motivo de esta división ha sido la posibilidad de dedicar más tiempo conjunto al trabajo completo, ya que el tiempo destinado a un solo Trabajo Final de Grado no es suficiente para realizar las dos fases completas.

1.1. Origen del proyecto y motivación

Ambos estudiantes del ETSEIB realizamos la asignatura optativa “Diseño de un sistema centrado en el usuario partiendo de los datos que aportan las ciudades inteligentes”, impartida por Jose Luis Eguia, en la que aprendimos sobre las posibilidades que ofrece el análisis de datos masivos para mejorar la vida de los ciudadanos. En esta asignatura nos familiarizamos con el uso de la información pública que ofrecen las ciudades, un ámbito que nos llamó la atención.

Ambos integrantes del proyecto habíamos además participado en proyectos separados relacionados con la elección de este TFG. Dichos proyectos fueron *El uso de Big Data en Smart Cities*, tema que trató Guillem Pérez en su trabajo final de bachillerato; y *El uso de energías renovables en Barcelona*, también trabajo final de bachillerato en el cual Antonio Torres realizó un estudio sobre el uso de estas energías en el servicio de tranvía de la ciudad.

Llegado el momento de elegir el tema el Trabajo Final de Grado parecía buena idea continuar con un proyecto que hiciera uso de lo que habíamos aprendido, y finalmente con el apoyo de nuestros directores respectivos decidimos realizar los dos proyectos que componen este trabajo conjunto de mayor envergadura.

1.2. Conocimientos previos

Antes de realizar el proyecto realizamos la asignatura mencionada en el apartado anterior, en la que aprendimos maneras de utilizar cierta información ofrecida por el Ayuntamiento de Barcelona en forma de *Open Data*. Estos datos pueden ser utilizados de forma libre para determinados proyectos relacionados con la ciudad, ya que ofrecen información sobre los servicios ofrecidos.

Teníamos también conocimiento básico sobre lenguaje python, el cual utilizamos de base para aprender a utilizar la biblioteca de *software* Pandas. También fue necesario adquirir nociones básicas de html y arduino antes de centrarnos en los conocimientos específicos de cada lenguaje que nos resultaron útiles para el proyecto.

2. Introducción

Este proyecto es un Trabajo de Final de Grado del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales en la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), facultad de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). El trabajo corresponde con la modalidad A, y consiste en el diseño de un sistema que permita obtener información sobre el tráfico de usuarios del transporte público, así como la creación de un prototipo que aplique este sistema.

El proyecto expuesto en este documento se enfoca en la creación de un sistema capaz de obtener información útil para una mejor gestión del transporte público. Forma parte de un trabajo conjunto en el que los datos obtenidos son además analizados para evaluar su potencial y las posibles carencias del sistema.

2.1. Objetivos del proyecto

2.1.1. Objetivos generales

La finalidad del proyecto es diseñar un prototipo capaz de obtener información relevante para mejorar el servicio de transporte público y llevar a cabo una prueba para obtener datos empíricos para comprobar si la alternativa elegida es viable.

2.1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos necesarios para lograr el objetivo general son los siguientes:

- Realizar un estudio del servicio actual, considerando datos reales y buscando posibles mejoras.
- Observar las necesidades de usuario y requisitos de la posible mejora, así como la legalidad al respecto.
- Analizar la posible implementación actual de sistemas Big Data en el servicio. Establecer la información relevante para estudiar el tráfico de usuarios de una red de autobuses.
- Evaluar el uso de *Sniffers* como medio de obtención de la información deseada.
- Diseñar un prototipo de *Sniffer* y un modelo que presente los datos de forma útil.
- Implementar el proyecto, obtener datos reales con un prototipo funcional.

2.2. Alcance del proyecto

Con el fin de limitar el alcance del proyecto y poder evaluar de forma eficiente los diferentes aspectos y posibilidades de mejora se ha elegido el autobús como el medio de transporte a estudiar. Diferentes medios de transporte están sujetos a realidades muy distintas por lo que analizar las diferencias entre ellos y evaluar alternativas para cada uno supondría un proyecto de mayor envergadura a la que se dispone en un trabajo final de grado.

Esta decisión ha sido tomada considerando que el tamaño de un autobús es menor que el de otros transportes como el metro o tranvía, por lo que llegado el momento de poner a prueba el sistema no se esperan tantas dificultades. La ciudad donde se pondría a prueba el sistema es Barcelona, la cual está dotada de un extenso servicio de autobuses.

Con tal de proponer una posible mejora es necesario evaluar los requerimientos de esta, por lo que es necesario realizar un estudio sobre el tipo de usuario que utiliza el servicio, así como de los requerimientos que deberán cumplir las alternativas propuestas.

Finalmente, una de estas alternativas será desarrollada en forma de prototipo, el cual debe ofrecer información útil para el estudio del servicio de autobuses. El prototipo deberá ser puesto a prueba para evaluar si realmente cumple con las expectativas generadas o por contra presenta una serie de carencias que deberán ser desarrolladas como parte del mismo proyecto, en consideración de posibles futuras mejoras para el sistema.

Por lo tanto, es necesario destacar que el proyecto pone énfasis en el propio estudio previo y desarrollo del sistema y su posterior evaluación, no en el hecho de que el prototipo creado sea una versión definitiva para su comercialización e implementación.

3. Situación actual

Para conocer el estado actual del servicio se ha contactado directamente con TMB, la empresa encargada de gestionar el transporte público en Barcelona, y se ha concertado una entrevista con Mario Armengol, director del programa TMB Educa. Este programa es el encargado de supervisar y apoyar los proyectos relacionados con la movilidad sostenible en Barcelona. También se contactó con Joan Carsi, Director de Explotación y Desarrollo en Tram Barcelona, con el fin de contrastar su situación.

Combinando la entrevista con los datos que ofrece TMB se ha podido observar claramente la potencial mejora en cuanto a observación y tratamiento de información respecto la ocupación de los autobuses en Barcelona.

Si bien es cierto que en el servicio de metro es posible realizar el recuento de cuántos usuarios entran y salen en cada parada, en el caso de los autobuses no existe esta posibilidad para observar cómo se comportan los usuarios. Es interesante observar que en el servicio de tranvía de la ciudad se ha implementado un sistema para obtener esta información, que consiste en el recuento de la gente que sube y baja en cada parada utilizando un sistema de infrarrojos.

En el caso de los autobuses la información no es tan detallada y por lo tanto el estudio para predecir la cantidad de autobuses óptima en cada línea y situación es más complicada. El autobús consta con un ordenador que guarda información sobre la ubicación del autobús en cada momento, así como un recuento de la cantidad de gente que sube en cada trayecto. Esta información es utilizada para relacionar el tiempo que se ha tardado en realizar un trayecto completo (el cual se puede relacionar con la cantidad de tráfico en la ciudad) con la cantidad de gente que ha necesitado el transporte en cada caso.

Toda esta información puede ser utilizada para conocer a posteriori la demanda del servicio en una situación determinada, pero ¿cómo es posible predecir la demanda futura para anticiparse a las necesidades de los ciudadanos?

Dades de les xarxes / Network data

(31.12.2018)

Oferta		Service provided	
		Places-km (millions) Places-km (millions)	Cotxes-km útils (milers) Cars/Vehicle-km in operation (thousands)
Metro	Metro	17.454,61	94.356,34
Autobusos	Buses	3.465,42	41.153,52
Total TMB	Total TMB	20.920,03	135.509,86

Demanada (Milions)		Demand (Millions)		2018
Viatges xarxa Metro		Trips on Metro network		407,51
Total Ferrocarril Metropolità, S.A.				407,51
Viatges xarxa Bus		Trips on Bus network		202,91
Viatges Barcelona Bus Turístic		Trips on Barcelona Bus Turístic		4,55
Total Transports de Barcelona, S.A.				207,47
Viatges Telefèric		Trips on Cable Car		1,51
Total Telefèric de Montjuïc, S.A.				1,51

Ratio		Ratio		2018
		Metro Metro	Autobusos Buses	
Viatgers/cotxe-km útil	Cars/vehicle-km in operation	4,32	5,04	
Viatgers-km (places-km/1000)	Passengers-km (places-km/1000)	116,73	167,63	
Recorregut mitjà per viatge en km	Average distance per trip (km)	5,00	2,80	

Figura 1: Datos sobre el uso de diferentes transportes públicos en 2018, ofrecidos por TMB en su portal informático

3.1. Observaciones de los trabajadores y análisis de datos

Como se ha explicado, TMB no tiene forma directa de conocer dónde bajan los usuarios del servicio de autobuses, pero existen herramientas que le permiten obtener información sobre el servicio para poder mejorarlo poco a poco.

El sistema más claro es utilizar la experiencia de los propios conductores. Cada conductor es destinado a una línea que acaba conociendo perfectamente gracias a la tarea repetitiva de recorrerla varias veces cada jornada laboral. Si se da el caso de que en una situación concreta son necesarios más vehículos para satisfacer la demanda, el conductor se pone en contacto con la base de autobuses y envían más vehículos para ello. A lo largo del tiempo, este factor ha ayudado a prever aumentos en la demanda que serían difíciles de observar de otra forma. De este modo, se han observado patrones que han permitido anticiparse a una creciente necesidad en situaciones concretas.








De esta forma, se puede anticipar el efecto en la demanda de autobuses causada por factores externos como la previsión meteorológica, la presencia de un evento importante con gran afluencia o que determinada calle esté cortada.

TMB dispone de los datos de la demanda anterior, cuyo análisis le permite observar patrones y tendencias que ayudan a realizar predicciones y adaptar el servicio de forma anticipada a posibles cambios.

3.2. Entrevistas periódicas a los usuarios

Periódicamente se realizan encuestas por parte del *Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona*. Existen dos estudios principales que se complementan, uno quinquenal sobre el transporte que incluye los días festivos y fines de semana (Encuesta de Movilidad Cotidiana o EMQ) y uno anual sobre los días laborables (Encuesta de Movilidad en Día Laborable o EMEF). Los estudios combinan encuestas presenciales, telefónicas y mediante internet para conocer los patrones generales de movilidad de los ciudadanos, así como los desplazamientos cotidianos y la opinión sobre el servicio de los usuarios en función de su perfil.

El análisis de la información obtenida permite la planificación del sistema de transporte público del territorio a corto y medio plazo. Gracias al trato individual de los usuarios se puede además conocer la intención detrás de cada desplazamiento, permitiendo la observación de patrones muy útiles para la mejora dinámica del servicio.

							
Gènere	Dona	Home	Dona	Dona	Home	Dona	Home
Edat	65 i més anys	30-64 anys	30-64 anys	30-64 anys	30-64 anys	65 i més anys	30-64 anys
Situació professional	Jubilat o pensionista	Actiu ocupat	Actiu ocupat	Actiu ocupat	Actiu ocupat	Jubilat o pensionista	Actiu ocupat
Motiu del desplaçament*	Mobilitat personal	Mobilitat ocupacional	Mobilitat ocupacional	Mobilitat ocupacional	Mobilitat ocupacional	Mobilitat personal	Mobilitat ocupacional

* S'inclou l'anada i tornada segons el motiu

Figura 2: Ejemplo de perfil de usuario mayoritario según el medio de transporte, Informe EMEF 2017

En el anexo del trabajo se incluye la Encuesta de Movilidad en Día Laborable 2017 (EMEF), la más reciente que ofrecen en su portal informático.

3.3. Departamento interno de TMB

El mecanismo explicado en el apartado anterior es de gran utilidad considerando el transporte público como conjunto, pero no es suficiente para prever con precisión la demanda concreta de cada línea de autobuses dependiendo de la situación.

En esta línea, la entrevista con Mario Armengol ha proporcionado detalles sobre cómo el servicio de autobuses en concreto obtiene información directa sobre la intención y hábitos de sus usuarios. Los puntos más relevantes de la entrevista son:

- Cada autobús lleva un ordenador que recoge datos sobre su ubicación en cada momento.
- También se recoge información sobre la cantidad de pasajeros que suben en cada parada.
- Esta información se envía cuando el autobús llega a cochera, al acabar su turno.
- Existe un departamento interno de TMB que se encarga de realizar estudios periódicos sobre el servicio.
- Se ha ofrecido la posibilidad de hacer una prueba oficial con la aprobación de TMB, una vez el dispositivo esté listo.

Estos estudios periódicos se basan en la participación de un conjunto de trabajadores que reparten tarjetas a los pasajeros cuando suben al autobús. Cuando llega a su parada de destino, el usuario deposita la tarjeta en un contenedor que hace el recuento de la gente que ha bajado en la parada. Este método presenta el problema de que parte de la gente olvida devolver la tarjeta, pero el estudio funciona con un margen de error que tiene en cuenta este suceso.

Combinar la información sobre la cantidad de gente que baja en cada parada con la de la gente que sube que obtiene el ordenador interno del autobús permite un estudio de movilidad más preciso que el ofrecido en las encuestas.

El estudio descrito se realiza periódicamente en forma de campañas, en las que se estudia cada línea de forma rotativa. De esta forma, se ha encontrado un sistema que, a pesar de sus defectos, permite a TMB conocer mejor dónde bajan los usuarios de cada línea de autobuses sin tener que destinar a ello una cantidad de recursos demasiado elevada.

4. Posible mejora utilizando *Big Data*

El término *Big Data* (Fernández de Lara Soria, 2015) hace referencia a aquellos sistemas que utilizan grandes volúmenes de datos para observar patrones y analizar la realidad, permitiendo en ese caso hacer predicciones sobre el comportamiento de los usuarios. Este análisis puede servir para tomar decisiones en tiempo real o para anticiparse a hechos que no pueden ser predichos de otra forma. Un ejemplo de ello es el caso de Kayak, que utiliza las búsquedas y compras de sus usuarios para predecir siete días antes cómo va a evolucionar el precio de las habitaciones en una determinada ciudad.

Como hemos visto en el apartado anterior, TMB dispone de herramientas para conocer el estado y la demanda del servicio, las cuales parten de un conjunto de datos tomados en momentos concretos que son extrapolados y se utilizan para aproximar la demanda y uso real del servicio, consiguiendo resultados competentes hasta la fecha. Pero la pregunta relevante es ¿y si pudieran conocer dónde suben y dónde bajan los usuarios? ¿Sería posible obtener información en tiempo real sobre cada uno de los recorridos en cada línea? ¿Qué nuevas posibilidades aportaría un sistema capaz de recoger y procesar toda esta información?

Para que la implementación de un sistema de captación de datos sea eficiente no solo es necesario disponer de un mecanismo que recoja esta información, sino que hay que tratarla de forma adecuada y entender su potencial. Un ejemplo de este caso es el hecho de que los bancos puedan conocer datos sobre dónde y cuánto se gastan los turistas en la ciudad de Barcelona en función de su país de procedencia. Tal información puede ser utilizada para realizar un estudio de transporte en la ciudad, para redistribuir de manera eficiente los servicios hoteleros o para conocer los lugares de procedencia de los turistas que aportan más dinero a la ciudad. Es por tanto tan importante el poder obtener estos datos como el obtener la información adecuada y analizarla de forma correcta para extraer su potencial.

Con tal de explorar las diferentes posibilidades que podría seguir el proyecto es necesario observar cómo se ha implantado el uso de *Big Data* en diferentes medios parecidos, es decir en el ámbito de la movilidad.

4.1. *Big Data* y movilidad

Actualmente, las tecnologías *Big Data* son utilizadas en muchos aspectos relacionados con el transporte. Se analizan datos del tiempo de duración de los trayectos y de densidad de vehículos en determinadas ocasiones con el fin de mejorar la gestión del tráfico en medios urbanos, y asegurar así una inversión más eficiente de fondos públicos en materia de transporte.

Un ejemplo de este uso es el caso de la empresa Moovit (Prieto, M., 2018), que ofrece una aplicación en la que sus usuarios pueden consultar el camino óptimo para realizar un trayecto. Utilizan datos públicos que les ofrecen las diferentes ciudades junto a grandes volúmenes de información que obtienen de sus usuarios. Este uso de *Big Data* les permite obtener patrones de movilidad .

También existe el caso de ciudades como Bilbao (Endeiza, 2018), que utiliza un conjunto de sensores y mediciones puntuales como intensidad del tráfico o velocidad puntual para obtener datos sobre el tráfico de la ciudad y poder mejorar así su gestión. Estas herramientas permiten operar a los diferentes medios de transporte de manera más eficiente y colaborativa.

Este proyecto, sin embargo. se centra específicamente en el uso de los datos masivos para conocer la ocupación de un vehículo, y actualmente no hay una gran variedad de sistemas diseñados con este fin. El motivo de ello es que los métodos ya explicados han sido suficientes hasta la fecha para gestionar estos medios de transporte, pero el potencial de utilizar *Big Data* se ha hecho eco en estos sectores y han surgido diferentes proyectos con esta finalidad.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el propio servicio de tranvía de Barcelona ha implantado un sistema para obtener datos sobre dónde bajan los pasajeros. Se trata del servicio ofrecido por la empresa DILAX¹, el cual consiste en el uso de sensores infrarrojos colocados en la parte superior de las puertas, capaces de diferenciar la gente que entra y la que sale. No es necesario equipar toda la flota con este sistema para obtener información relevante, por lo que se ha optado por implementarlo en tres vehículos de la zona de Trambaix y 3 en la de Trambesòs. Contrastando esta información con la obtenida a través del registro de validación de billetes al subir se obtienen datos fiables sobre la ocupación del vehículo.

¹Esta empresa se dedica pues a implementar y gestionar un sistema que utiliza *Big Data* para mejorar la eficiencia de medios de transporte. Ofrece no solamente la instalación de los sensores en los vehículos, sino también el tratamiento centralizado de los datos y la interpretación de ellos para ofrecer a sus clientes información relevante. (Conteo de pasajeros DILAX, 2018)

4.2. Requisitos y limitaciones

4.2.1. Consideraciones previas

Para poder valorar las diferentes opciones es necesario definir antes qué es lo que se quiere conseguir con el sistema diseñado, manteniendo presente que se quiere crear un prototipo funcional capaz de adquirir los datos elegidos.

Existen ciertas consideraciones a tener en cuenta en el momento de implementar un sistema *Big Data*, las llamadas “cuatro V del *Big Data*”(Ladrero, 2018):

-Volumen de Datos: cantidad de datos necesarios para que la información obtenida del estudio sea relevante.

En el proyecto actual no se pretende desarrollar una extensa red funcional que obtenga un gran volumen de datos, sino crear un dispositivo que sea capaz de ello como aparato único. Con tal de realizar un estudio efectivo de la ocupación de una línea será entonces necesario recorrerla en repetidas ocasiones, hasta considerar que los datos reflejan un patrón que se corresponde con la realidad.

El tiempo y los recursos limitados influyen negativamente en esta faceta del proyecto.

-Velocidad de Datos: hace referencia al hecho de que los datos pueden necesitar ser en tiempo real para ser útiles, o en otros casos un análisis posterior es suficiente.

Las diferentes alternativas deben ser valoradas en función de su coste y el tiempo invertido necesario para llevarlas a cabo. El tipo de dispositivo que se elija va a influir en gran manera a las posibilidades en este ámbito.

-Variedad de Datos: tipo de datos que se necesitan para resolver el problema observado.

Es necesario recordar que este es un proyecto independiente de la empresa TMB, por lo que no se ha permitido el acceso a la información que recoge un autobús en su trayecto habitual. Esta información contiene el tiempo duración del trayecto total y entre paradas, así como la ubicación de ellas y dónde y cuándo suben los pasajeros al autobús. Implementar sistemas de recogida de datos adicionales sería mucho más sencillo si se pudieran integrar al sistema global del autobús, pero al tratarse de un proyecto independiente no ha sido así.

Hace falta definir la información que será relevante para el estudio actual. Quiriendo conocer la ocupación del vehículo en cada momento, es obvio que será necesario idear la forma de registrar cuando un usuario **sube** o **baja** del vehículo, además de conocer el **lugar** (es decir la parada) y **momento** en el que lo hace. A parte de estos factores fundamentales, es posible recoger mucha más información sobre los usuarios dependiendo del método elegido para ello, por lo que de entrada se ha considerado recoger todo tipo de datos de manera amplia pero considerando la legalidad al respecto.

-Valor de Datos: los datos obtenidos deben ser útiles para su posterior análisis.

No es eficiente crear un sistema que simplemente genere muchos datos sin pensar en su posterior análisis, ya que los datos no servirán de nada si no se pueden extraer conocimientos derivados. El prototipo debe presentar la información de manera que se facilite su interpretación y se maximice su utilidad.

4.2.2. Requisitos

El sistema diseñado debe ser capaz de captar y almacenar, ya sea de manera local o en servidor, los datos sobre subidas y bajadas de los usuarios, así como el lugar y hora donde sucede cada interacción. Se pretende crear un dispositivo electrónico capaz de ello, independiente del ordenador integrado en el autobús, ya que su acceso está restringido a trabajadores de TMB.

Aspecto	Requisito	Justificación
Tamaño y peso	Ligero	Facilitar su manipulación
Localización	En un solo punto	Facilitar su supervisión y posibles reparaciones
Accesibilidad	Fácil para el operario	Para que pueda extraer la información en local
	Difícil para pasajeros	Evitar que lo rompan o se lo lleven

Figura 3: Tabla de requisitos del dispositivo.

4.2.3. Legalidad

Se debe crear un sistema que no viole la privacidad de los pasajeros del autobús. En Europa existen un conjunto de leyes que protegen la identidad de los ciudadanos, por lo que todo sistema basado en *Big Data* debe respetar los derechos de las personas de las que se están obteniendo datos.

En 2018, un nuevo paquete de leyes respecto la privacidad online entraron en vigor en la Unión Europea, el llamado **EU General Data Protection Regulation** (EUGDPR ,2018). Esta nueva legislación ha permitido crear unas normas comunes en el mercado europeo, solucionando así posibles conflictos causados por diferentes limitaciones en cada estado miembro.

En líneas generales, las regulaciones que afectan al proyecto son las siguientes:

-Consentimiento: Los usuarios deben ser notificados de forma clara si se están recopilando datos personales suyos. Dependiendo del sistema elegido este apartado podría no suponer ninguna limitación, siempre que no se trabaje con los datos personales de los usuarios. En caso contrario pues sería necesario notificar de alguna forma a los pasajeros.

-Fines determinados: No se permite recoger datos simplemente con el objetivo de almacenarlos por sí son útiles en un futuro, es necesario tener unos fines claros establecidos y los datos obtenidos con un fin no pueden ser utilizados para otro. En el caso del proyecto actual, el fin es obtener información sobre el servicio de autobuses.

-Obligación al uso de seudónimos: Los usuarios no deben ser identificables mediante un proceso reversible a partir de la información obtenida. Este apartado puede ser difícil de cumplir en ciertos casos como en redes sociales, la idea es que los datos que se generan no deben relacionarse con una persona física sino con un avatar al que se le asocian etiquetas. En el caso del proyecto se debe tener en cuenta que los datos obtenidos deben etiquetarse de forma que no se relacionen de manera directa con el individuo.

También hay otros aspectos importantes de la legislación que se deberían tener en cuenta si el proyecto finalmente se lleva a gran escala, como por ejemplo cómo codificar los datos obtenidos o cómo actuar en caso de posible brecha en la información. Hay que ser consciente de que los datos relacionados con el uso de transporte en una gran ciudad como Barcelona son información sensible que no debe ser difundida a la ligera, por eso TMB no ofrece toda la información que posee sobre el servicio a proyectos externos.

4.3. Estudio de usuario

Para realizar un estudio del usuario típico del servicio de autobuses en Barcelona hay que observar los resultados de las encuestas periódicas que se realizan en el servicio, y definir qué información es relevante para el proyecto.

El perfil de usuario tipo de los autobuses de Barcelona es el siguiente, según el estudio EMEF 2017. Se trata de una mujer de entre 30 y 64 años, en situación laboral activa ocupada y cuyo principal motivo de transporte es la movilidad ocupacional, es decir, desplazamiento a causa del trabajo. Según diversas fuentes (20 minutos, 2017), en el año 2017 el 82% de los usuarios de autobuses en Barcelona poseían un teléfono móvil con conexión a internet .

Se ha valorado la opción de realizar un estudio más detallado del usuario tipo del servicio, así como encuestas directas para contrastar la información ya obtenida por otros medios, pero finalmente se ha optado por no dedicar más recursos a esta faceta del proyecto, ya que realmente el perfil de usuario y sus gustos subjetivos serían de mayor interés si se quisiera hacer un estudio del mercado o sobre cómo mejorar la percepción del servicio, pero no es el caso de este trabajo.

Para cumplir los objetivos del proyecto es relevante encontrar un factor en común la mayoría de los usuarios, para recoger datos que reflejen de forma fiel aquello que sucede dentro del autobús. Así pues, el estudio de usuario ha servido para valorar aquellas facetas que podían ser de mayor interés para recoger datos.

-Todos los usuarios pasan por la puerta al subir y bajar, por lo que establecer algún tipo de control en ellas sería una alternativa.

-Los pasajeros o bien se encuentran sentados o bien están de pie dentro del vehículo. Valorar de alguna forma la densidad de gente en cada momento y compararla con casos de ocupación conocida podría ser una opción.

-Como se ha destacado anteriormente una gran mayoría de la población dispone de teléfono móvil con acceso a internet (según el diario *Expansión*, un 97% de la población tiene teléfono móvil, 87% de los cuales son *smartphones* con acceso a la red). Se podría valorar la opción de hacer el recuento, no de pasajeros del vehículo de forma directa, sino de la cantidad de gente que lleva *smartphone* dentro del autobús.

4.4. Alternativas de diseño

Teniendo en cuenta los requisitos y limitaciones observadas y las valoraciones hechas en el estudio de usuario se han considerado diferentes posibles sistemas que permitirían obtener información relevante para el proyecto. Esta información podría complementar la que ya dispone TMB sobre sus usuarios, abriendo la puerta al futuro análisis de datos para mejorar la eficiencia de este transporte.

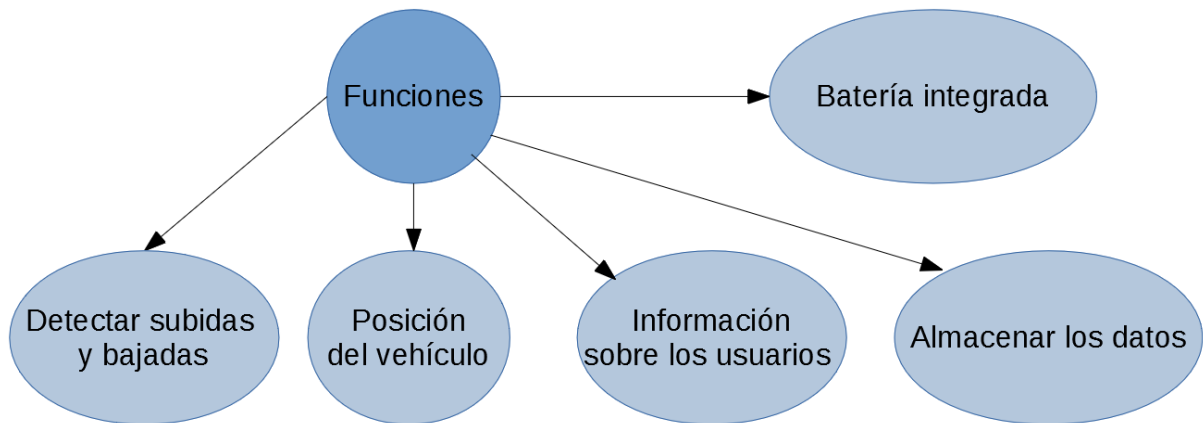


Figura 4: Árbol de funciones del dispositivo

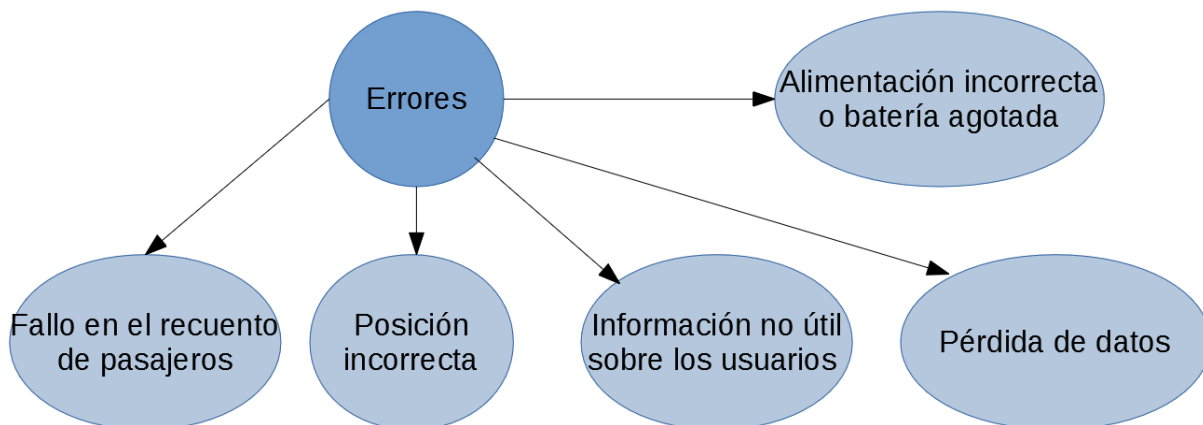


Figura 5: Árbol de errores del dispositivo

Obtención de la ubicación del vehículo

Existe la posibilidad de obtener esta información sin que el prototipo incluya un módulo GPS integrado, aprovechando que el propio autobús ya recoge esta información junto a datos sobre los usuarios que suben al vehículo.

Disponer de estos datos simplificaría las operaciones a realizar en el proyecto, ya que únicamente sería necesario colocar el sensor elegido sin tener en cuenta una ubicación óptima para la antena GPS del dispositivo. Se facilitaría también el primer procesado de información, ya que el filtrado de datos y la relación entre los distintos elementos se realizaría a posteriori. Otra ventaja sería que al disponer de la información del ordenador también se podrían utilizar los datos sobre los pasajeros al pasar su billete como medio de verificación del sistema.

Sin embargo, si el dispositivo depende de esta información no es autónomo del propio autobús, es decir que se pasa a depender de la información proporcionada por medios ajenos al proyecto. Esta alternativa hace que el dispositivo únicamente sea útil para el caso concreto de autobuses que registren cierto tipo de información, por lo que el proyecto es mucho más específico para el ámbito de Barcelona (ya que sería necesario aprender a trabajar con la información obtenida por los buses locales en concreto, con su propio formato y limitaciones). Depender de una entidad externa para obtener información tan crucial para el proyecto es un gran contra, ya que es posible que el acceso a esta información sea restringido.

Esta opción tendría muchos contras si el proyecto lo llevara a cabo la propia compañía de autobuses. El dispositivo pasaría a ser más sencillo, más fácil de instalar y más barato, y únicamente habría que realizar a posteriori un procesado algo más complejo de la información. El hecho de no estar trabajando para la propia compañía hace que el acceso a la información complementaria necesaria sea más complicado, por lo que no resulta una opción viable si se quiere obtener un prototipo funcional al finalizar el proyecto.

Es necesario entonces incluir una función GPS en el prototipo, para poder relacionar los datos con el lugar donde han sido obtenidos.

4.4.1. Infrarrojos

Es el sistema utilizado actualmente por empresas como DILAX, cuyo caso se ha explicado en apartados anteriores. Se utilizan sensores infrarrojos encima de cada una de las puertas, capaces de diferenciar entre entradas y salidas para conocer en todo momento la ocupación del autobús.

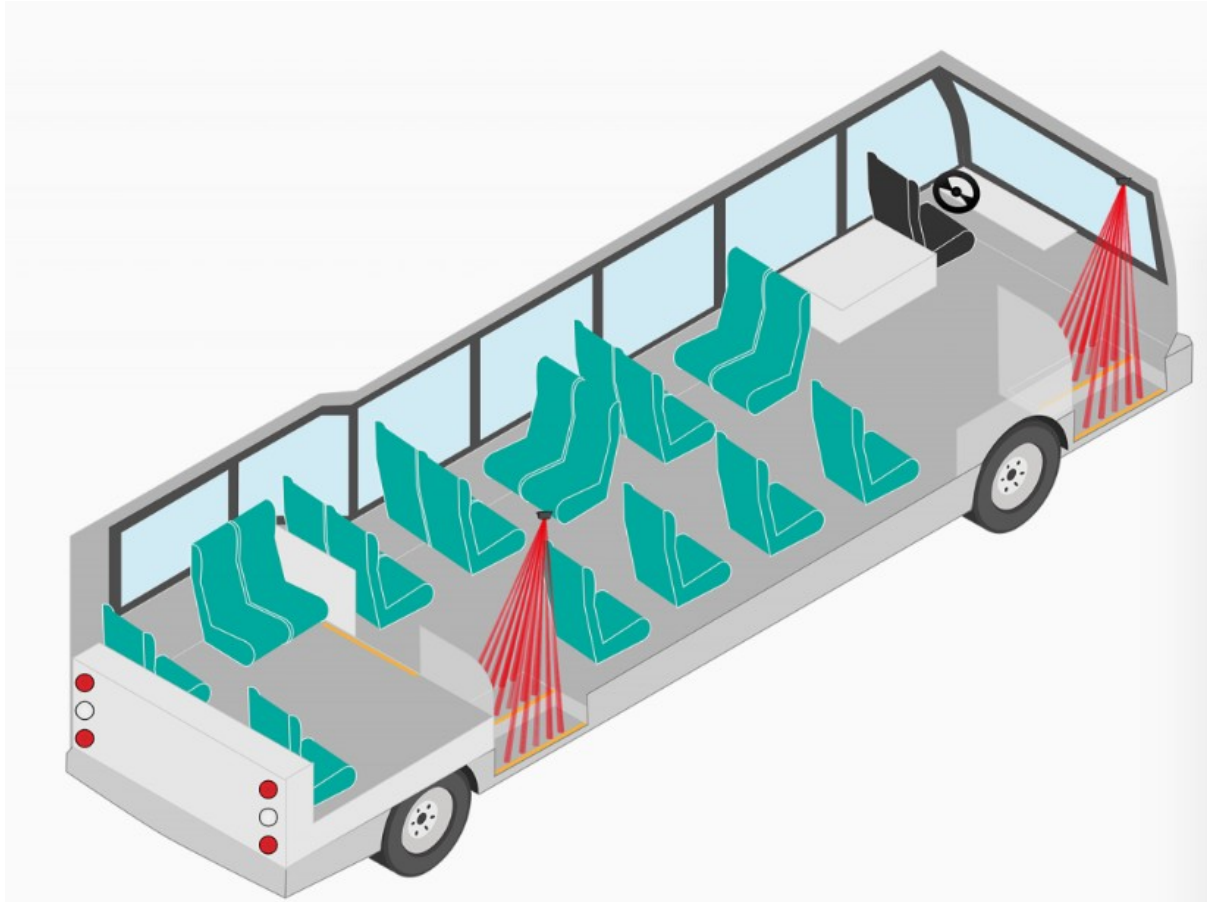


Figura 6: Ejemplo de sensores infrarrojos, esquema ofrecido por la empresa BEA en su plataforma web

El diseño de un prototipo de este estilo debe considerar diferentes factores:

-Respecto al tipo y cantidad de infrarrojos a colocar

Colocar un único sensor encima de cada puerta, el cual debe ser capaz de diferenciar entre entradas y salidas. Esta opción sería la que pase más desapercibida por el usuario, pero su diseño puede ser más complicado que en el resto de alternativas.

Colocar barreras infrarrojas en ambos laterales de cada una de las puertas. Este sistema parece más sencillo de implementar, pero requiere de un aumento en la inversión de tiempo y dinero para construir el prototipo. Esta opción fue implementada en un proyecto en Méjico por la empresa Ak Industronic, que de forma satisfactoria logró desarrollar un sistema como el que se pretende crear en el proyecto actual (Akindustronic, 2014). El precio por el que venden dos barras es de 8900\$, por lo que esta opción puede resultar demasiado cara considerando el alcance del proyecto actual.



Figura 7: Sensores de barra de infrarrojos para el conteo de pasajeros, diseño de Ak Industronic

-Respecto al almacenamiento de datos

Cada sensor debe o bien almacenar la información de su puerta junto al momento en que cada dato ha sido tomado, o bien enviar en tiempo real la información que capta.

Se necesita también un sistema auxiliar que proporcione la localización del vehículo en cada momento, para luego relacionar todos los datos y conocer la ocupación del autobús antes y después de cada parada.

Pros	Contras
Posible alta fiabilidad	Necesidad de múltiples dispositivos
Tecnología al alcance del proyecto	Comunicación requerida entre los componentes
Trabajos previos que usar de referente	Difícil mantenimiento
	Coste elevado

Figura 8: Pros y contras del uso de infrarrojos en las puertas.

4.4.2. Cámaras

En la actualidad existen *software* de análisis de imagen (por ejemplo Cloud Vision API, *enetcamCOUNTER*, etc) capaces de procesar e interpretar el flujo de personas dentro de un espacio como puede ser un autobús. Esta opción ofrece posibilidades únicas, como conocer con exactitud la cantidad de pasajeros de pie o sentados o realizar estadísticas sobre dónde se colocan dentro del vehículo. El éxito de esta alternativa depende en gran medida de la calidad del *hardware* y *software* utilizados.

Calidad del hardware	Calidad del software
Mejor definición asegura mejor recuento	Gran volumen de datos a tratar
Permite clasificar pasajeros	Difícil prever situaciones excepcionales
Posible detector térmico	

Figura 9: Influencia de hardware y software en los datos usando cámaras.

Pros	Contras
Sistema muy preciso	Difícil considerar todos los escenarios posibles
Extenso estudio de usuario	Difícil construcción de prototipo
Posible sistema de vigilancia simultáneo	Volumen de datos muy grande
	Coste muy elevado

Figura 10: Pros y contras del uso de cámaras.

4.4.3. Sniffer

Un *Sniffer* o “analyzer de paquetes” es un programa o dispositivo capaz de observar y capturar información en la red informática que no va dirigida a él (procede del término *sniff* que significa “olfatear” en inglés). En el contexto de este proyecto, el *Sniffer* es utilizado para realizar un recuento de los dispositivos que están con la función WiFi activada en un determinado instante.

Esta opción de recuento es posible al gran porcentaje de población que dispone de un *smartphone* con conexión a internet (tal como se ha presentado en el estudio de usuario más de un 80% de los usuarios). El porcentaje de pasajeros detectados de esta forma depende también de la cantidad de gente con el WiFi activado en su *smartphone* (más del 75% de los usuarios según una encuesta de Avast (Juste, 2018)), por lo que su fiabilidad puede depender de la zona en la que se realiza la prueba.

Pros	Contras
Un solo prototipo	Opción no implementada anteriormente
Programas gratuitos para estudiar posibilidades	Tiempo de experimentación mayor
Bajo coste	Escasa información previa
Propuesta innovadora, proyecto más relevante	Necesario determinar el efecto del ambiente

Figura 11: Pros y contras del uso de *Sniffers*.

4.4.4. Tabla comparativa

En esta tabla se comparan los principales aspectos que se han tenido en cuenta para elegir el prototipo a desarrollar.

Alternativas	Infrarrojo	Cámara	<i>Sniffer</i>
Coste del prototipo	Medio-Alto	Alto	Bajo
Necesidad de múltiples dispositivos	Si	Probable	No
Dificultad procesamiento de datos	Baja	Alta	Media
Fiabilidad prevista	Alta	Depende de la inversión	Depende del entorno

Figura 12: Tabla comparativa de elaboración propia entre las opciones valoradas

La opción elegida para desarrollar el prototipo es crear un sistema basado en *Sniffers*. A pesar de suponer un reto mayor a causa de la aparente escasa información sobre esta alternativa, es la opción más económica y permite crear un solo dispositivo. Al ser una opción todavía no implementada en ningún transporte en Barcelona, también resultará más interesante para la empresa TMB, ya que no se han explorado los beneficios de implementar en la ciudad un sistema de esta naturaleza.

5. Desarrollo del prototipo

5.1. Uso de *Sniffers* en la actualidad

Los *Sniffers* capturan información de la red a su alrededor, permitiendo obtener información que no está protegida. Cualquier dispositivo con el WiFi activado envía de forma periódica paquetes de información llamados *probe request*, que sirven para identificar los WiFi a su alcance y ver si alguno de ellos es conocido para el dispositivo.

Los mismos *probe request* proporcionan una gran cantidad de información sobre el usuario, permitiendo incluso conocer la marca del dispositivo y los nombres de las redes WiFi que tiene en su memoria. Estos datos pueden ser utilizados para conocer mejor los visitantes a cierto lugar o evento.

En la actualidad, esta tecnología es utilizada por ciertas compañías para conocer el comportamiento de sus clientes. Un ejemplo es el caso de Forest City Enterprises (Kopytoff, 2013), una empresa que posee o dirige cerca de veinte centros comerciales. La compañía utiliza tecnología *Sniffer* para conocer el recorrido de los visitantes en los centros comerciales, además de registrar la MAC de los usuarios para saber si el individuo regresa en otra ocasión o no. La compañía afirma que esta información fue utilizada para cambiar de sitio unas escaleras mecánicas que interferían con una de las entradas.

Ubicar los usuarios en áreas interiores y poder diferenciar los clientes entre sí utilizando este sistema son nuevas posibilidades que todavía se están explorando e implementando, ya que se trata de tecnología en desarrollo que según algunos expertos pronto tendrá una gran expansión (Don Dodge, ejecutivo de Google, también en la (Kopytoff, 2013)).

5.2. Elección de componentes

Llegado el momento de diseñar el prototipo hay una serie de opciones a considerar. Como se ha explicado en apartados anteriores, se requiere que el aparato sea capaz de capturar los *probe request*² de los pasajeros del autobús, además de almacenar esta información junto a la ubicación y hora en los que se capturan los datos. Debido a que el dispositivo no está conectado a la alimentación del vehículo, es necesario que disponga de una batería integrada, cuyos requisitos dependen del *hardware* elegido.

5.2.1. Procesador y chip

1-Raspberry pi

Se trata de un ordenador de placa única de bajo coste concebido para proyectos educativos como el que se lleva a cabo. Permite utilizar diferentes sistemas operativos y existe código abierto para la placa, por lo que programarla para las funciones que se desean realizar no debería ser de gran dificultad considerando la capacidad de procesamiento que ofrece.

Los modelos posteriores al 3 llevan integrado módulo WiFi y ranura microSD, por lo que únicamente sería necesario adquirir el GPS y la batería por separado. La poca cantidad de componentes hace que el montaje sea sencillo para esta opción.



Figura 13: Modelo de Raspberry Pi

- 2 Los *probe request* son los paquetes de información que el dispositivo envía para conectarse a una red WiFi. El paquete contiene una lista con nombres de redes que el dispositivo reconoce, y en el caso de coincidir con alguno de la lista el aparato se conecta a la red. También se incluye el código identificativo del dispositivo (MAC), que permite saber quién ha enviado la solicitud.

2-Arduino

Es un tipo de placa programable que utiliza microprocesadores y microcontroladores, ideal también para realizar prototipos como el de este proyecto. Se trata de *hardware* libre, por lo que existen diferentes compañías que han adaptado el modelo básico para ofrecer una gran variedad de productos. Este hecho tiene puntos a favor y en contra, porque mientras es posible encontrar una opción económica que cumpla los requisitos deseados, es posible que la información respecto este modelo sea escasa y la potencia de procesamiento que ofrece no sea suficiente para las tareas que debe desempeñar.

Modelo	Aspectos técnicos a considerar
Arduino UNO	Modelo básico, no incluye conexión WiFi, GPS, batería ni ranura SD
Arduino Zero	Mayor CPU, RAM y memoria interna
Arduino Mega	Más entradas digitales para conectar módulos
Node MCU	Modelo no oficial pero con chip WiFi integrado

Figura 14: Tabla comparativa entre modelos de arduino

Al igual que en el caso de la raspberry, existe código libre que puede ser útil para programar el dispositivo. Dependiendo del modelo elegido es posible que surjan problemas a causa de falta de capacidad de procesamiento o insuficiente información sobre cómo utilizar de forma efectiva ese modelo en concreto.

5.2.1.1. Placa NodeMCU con chip esp8266

Se trata de un modelo de placa programable con el sistema de arduino. Incorpora el chip esp8266, que sirve para conectar la placa mediante señal WiFi. Dispone de una entrada microUSB para conectarse al ordenador, y de interruptores de flash y reinicio.

A pesar de que su capacidad de procesamiento es menor al de una placa arduino convencional y al de una raspberry, es un modelo muy económico y presenta todo aquello necesario para el proyecto. Tiene integrado el chip para observar las señales WiFi, dispone de suficientes pines para conectar GPS y tarjeta SD y en principio la capacidad de procesamiento debería ser suficiente.

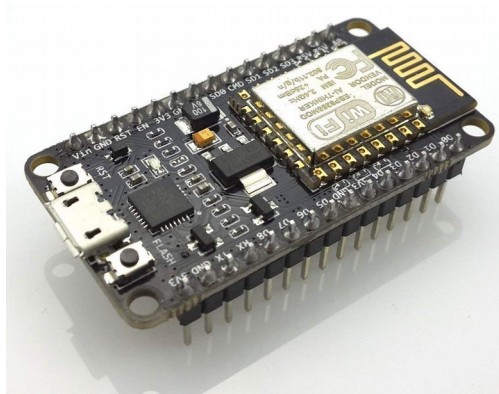


Figura 15: NodeMCU con chip esp8266

5.2.2. Ubicación

El diseño debe integrar elementos capaces de determinar la ubicación GPS para obtener información que relacione el punto del recorrido con la ocupación del autobús en cada momento. De esta forma el prototipo no necesita información que deba proporcionar la compañía de autobuses. Es necesario determinar cómo se recoge y envía la información obtenida, ya que depende de la forma de procesar los datos

Al no depender de una fuente de información externa se puede realizar un prototipo funcional sin necesidad de otros medios, por lo que el diseño obtenido puede ser utilizado independientemente de si se trata de autobuses en Barcelona o no. La información recogida por el dispositivo se debe presentar de forma útil para su posterior filtrado y análisis.

La instalación del dispositivo debe considerar la recepción de la antena y la forma de recoger los datos que genera el prototipo, ya que debe ser un lugar con buena recepción y de acceso fácil para el operario pero difícil para los pasajeros.

5.2.3. Almacenamiento de datos

Se deben considerar diversas opciones.

1-Almacenar la información en un medio físico que se vacía de forma periódica

El dispositivo debe enviar la información a un sistema de almacenamiento integrado, como podría ser una tarjeta SD. Es necesario vaciar los datos obtenidos de forma periódica.

Esta opción es poco automática ya que requiere la intervención de un operario que interactúe con el dispositivo y envíe la información para que sea procesada. No permite consultar la información a tiempo real. La ventaja de esta opción es su coste reducido y fácil implementación respecto a las demás alternativas.

2-Enviar la información mediante WiFi de forma periódica

Consiste en utilizar el propio dispositivo *Sniffer* para actuar como cliente de una señal WiFi para que envíe a un servidor los datos almacenados de forma periódica. Esta opción requiere conectarse a un punto WiFi de forma automática en alguna parte del recorrido.

Esta opción presenta mayor autonomía que la anterior, pero es más compleja y puede requerir un *hardware* de mayor potencia. Es necesario también conocer una señal WiFi en el recorrido, como podría ser en la cochera a final del servicio de cada línea.

3-Integrar 3G al dispositivo

Es la opción más cara y compleja pero también la que más posibilidades ofrece. El dispositivo no depende ni de un operario ni de una señal WiFi externa, y se podría enviar información de forma mucho más regular que con los otros sistemas, por lo que sería posible consultar esta información en directo.

En un proyecto a mayor escala esta opción sería la más ventajosa, ya que a pesar de su mayor complejidad es la que mejores resultados ofrece. Sin embargo, su elevado coste y difícil implementación en comparación con las otras hace que no sea adecuada para el proyecto actual, ya que requiere un presupuesto y dedicación mayor a los abarcables.

La opción elegida para el proyecto es la primera, que el prototipo almacene la información en una tarjeta SD y los datos se vacíen de manera periódica, ya que es la opción más económica y fácil de implementar.

5.3. Programación y construcción

Una vez elegidos los componentes que más se ajustan a las necesidades del proyecto, se ha procedido al desarrollo del prototipo. En este apartado se hace referencia a otros códigos y *scripts* de libre uso. En el apartado de Anexos se encuentran dichos *scripts*, junto a información sobre su autor y el enlace de referencia.

5.3.1. Configuración del *Sniffer*

El modelo adquirido es la placa Nodemcu, que lleva integrado el chip esp8266 capaz de conectarse a la red WiFi. Con tal de familiarizarse con el uso del modelo y de la programación usando el lenguaje de arduino, se consultaron y siguieron diferentes guías que exploraban las posibilidades que ofrece la placa, como utilizar su led incorporado, realizar una acción al pulsar el botón integrado o conectarse a una red WiFi.

A continuación se puso a prueba el modo escucha del dispositivo, utilizando el *script* de libre uso “esp8266-sniffer” diseñado por el programador y usuario de github “kalanda”. Su código proporciona la siguiente información a través del monitor de Arduino.

```
RSSI: -92 Ch: 13 Peer MAC: 4a:4a:df:08:57:f6 SSID: 54
RSSI: -93 Ch: 13 Peer MAC: 4a:4a:df:08:57:f6 SSID: 54
RSSI: -86 Ch: 13 Peer MAC: 64:20:0c:07:df:13 SSID: 54
RSSI: -94 Ch: 13 Peer MAC: 98:01:a7:a6:6d:6b SSID: vavahostel-154
RSSI: -94 Ch: 13 Peer MAC: 98:01:a7:a6:6d:6b SSID: Eurolines Business Class54
RSSI: -92 Ch: 13 Peer MAC: 98:01:a7:a6:6d:6b SSID: Naughty Squirrel Hostel54
RSSI: -97 Ch: 13 Peer MAC: 98:01:a7:a6:6d:6b SSID: FlixBus Wi-Fi54
RSSI: -94 Ch: 13 Peer MAC: 98:01:a7:a6:6d:6b SSID: #StarbucksWifi54
RSSI: -69 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -70 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -71 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -60 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -63 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -62 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -14 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
RSSI: -13 Ch: 13 Peer MAC: da:a1:19:6c:b5:dd SSID: 54
```

Figura 16: Monitor serie utilizando el *script Sniffer*

La información obtenida es la siguiente:

RSSI: parámetro que hace referencia a la intensidad con la que el chip recibe el *probe request* detectado. Como menor sea el valor absoluto del RSSI, mayor es la intensidad del señal recibido, por lo que valores absolutos grandes (por ejemplo -97) corresponden a dispositivos lejos del punto donde se recogen los datos, mientras que los pequeños (por ejemplo -13) corresponden a los que están más cerca. Los obstáculos como paredes o ventanas de cristal también reducen la intensidad del señal.

Channel: el canal WiFi por el que circula la información. Cada canal utiliza una frecuencia diferente, y el *Sniffer* recoge paquetes en los canales 1 al 13 (habilitados para el uso de señales WiFi en Europa, el 14 solo se utiliza en Japón) de forma periódica.

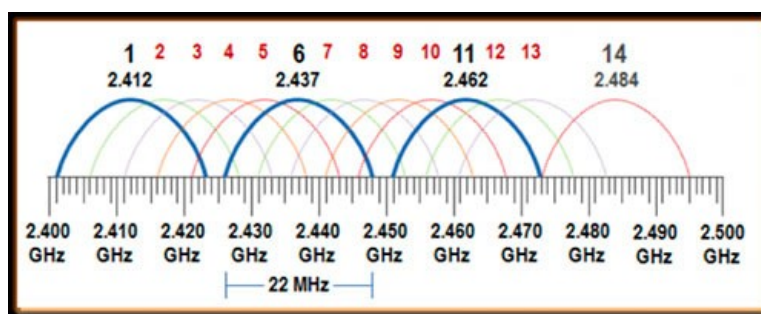


Figura 17: Esquema sobre los diferentes canales WiFi.

Peer MAC: cada dispositivo envía junto a la petición de conectarse a la red WiFi información propia, como es el número de identificación MAC único para cada dispositivo. Este número proporciona información que puede resultar útil para estudiar los usuarios del servicio, ya que permite identificar el tipo de *smartphone* que llevan los pasajeros. Además, este número sirve de etiqueta para distinguir los usuarios entre ellos sin necesitar asociarlos a información personal que pueda violar su privacidad, por lo que las leyes europeas de protección de datos son respetadas.

SSID: el *Service Set Identifier* se utiliza para etiquetar todos aquellos dispositivos que se están comunicando entre sí, es decir, los dispositivos conectados todos a una misma red comparten el mismo código.

En el monitor aparecen de forma periódica el nombre de los señales WiFi a los que un dispositivo concreto se está intentando conectar, aquellos que tiene guardados en su memoria. Esta información puede utilizarse para conocer mejor a los usuarios, para conocer por ejemplo cuál es el proveedor de internet que utilizan cada uno en su hogar.

Una vez comprendido el funcionamiento del programa, se ha procedido a realizar diversas pruebas con este *script*. Primeramente se comprobó su correcto funcionamiento en un lugar fijo, en este caso una aula de la universidad, y posteriormente se verificó su uso en un viaje de autobús de unos 30 minutos, observando la gran cantidad de datos que se recogían.

5.3.3. Almacenamiento

Se ha consultado ejemplos de programas en implementados en placas NodeMCU en los que se escribe en tarjeta SD. Utilizando las mismas librerías y comandos observados en la posición apropiada del *script* final, se ha conseguido que en lugar de mostrar la información en el monitor de arduino se escriba dicha información en un archivo de texto en la SD.

El formato en el que se guardan los datos ha sido elegido para maximizar su utilidad de cara al futuro procesado. Se guarda en un archivo de texto separado por comas, el cual puede ser fácilmente convertido a csv, formato adecuado para operaciones de filtraje y procesamiento relacionadas con Big Data.

Cada fila contiene información de un paquete: RSSI, MAC, Latitud, Longitud, Fecha y hora. Hay un último elemento en cada fila que hace referencia al propio proceso de lectura del *Sniffer* y que ha sido útil para observar el correcto funcionamiento del prototipo. Este elemento es eliminado al filtrar los datos.

5.3.3. Combinación y problemas surgidos

5.3.3.1. Conexiones

El primer reto a superar llegado el momento de combinar las tres facetas explicadas ha sido conectar a la vez los diferentes módulos a la placa NodeMCU. Hasta este punto no ha habido conflicto ya que se han conectado únicamente los pines que cada uno necesita, siempre usando los del cuarto inferior derecho de la figura 19.

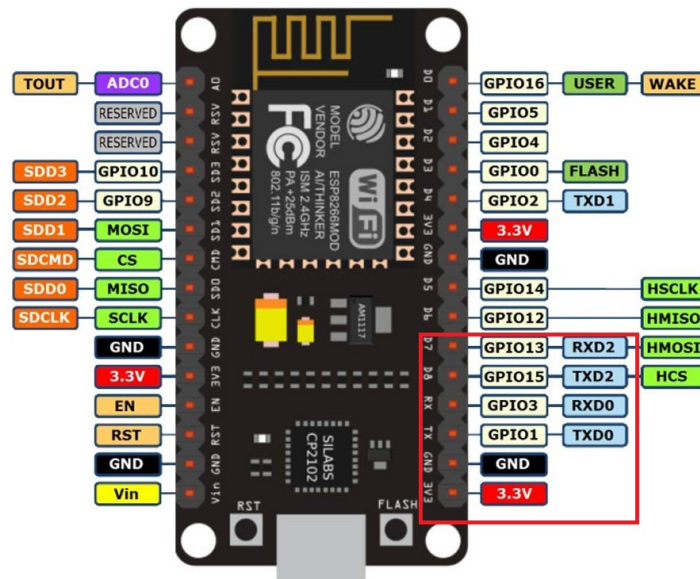


Figura 20: Numeración de los pines de la placa NodeMCU

Como cada módulo necesita conexión a pines digitales y a alimentación, se han probado diferentes combinaciones posibles hasta encontrar aquella en la que se pueden utilizar todas las funciones explicadas anteriormente por separado. Cabe destacar que conectar tantos módulos a la placa ha resultado complicado, especialmente el módulo de la SD, ya que la documentación al respecto es escasa. Finalmente se ha encontrado la forma de que todos los módulos puedan funcionar a la vez, tal como se muestra en la figura 21.

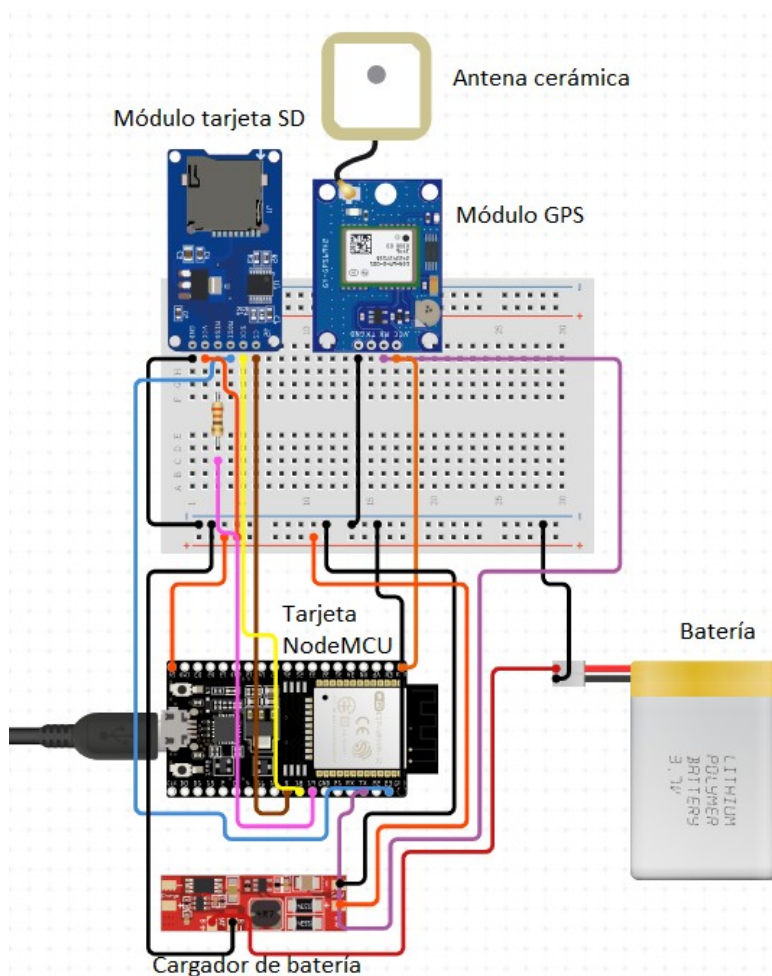


Figura 21: Esquema de conexiones

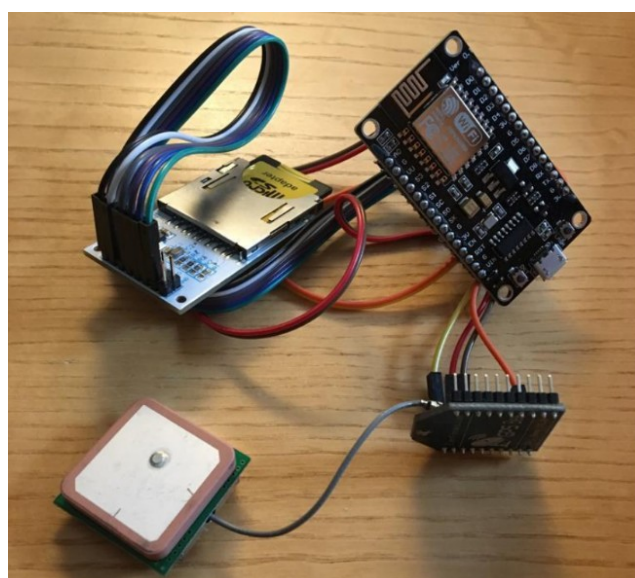


Figura 22: Prototipo con todos los módulos conectados: la placa NodeMCU, el módulo de la tarjeta SD, el módulo GPS y la antena cerámica del GPS

5.3.3.2. Problemas de reinicio

Al unir los dos *scripts* principales (*Sniffer* y GPS), reorganizarlos y re-editarlos para obtener la información necesaria en el formato deseado (separado por comas). El principal cambio se debe a que la estructura de los dos *scripts* es muy diferente, ya que el GPS funciona de manera periódica (ofrece toda la información cada segundo), presentando esta recursividad dentro del “void loop”, y el *Sniffer* funciona utilizando una función interna que responde a un evento (al recibir un *probe request*).

El problema se ha encontrado al tratar de combinar estas dos estructuras diferentes, ya que salta el error siguiente: *rst cause:4, boot mode:(1,6)*.

```
-91,00:21:e9:e0:85:31,***** ,***** ,***** ***** ,1030 0 0
-96,d4:50:3f:37:dc:5d,***** ,***** ,***** ***** ,1030 0 0
-95,da:a1:19:9b:76:02,***** ,***** ,***** ***** ,1030 0 0
-90,74:e2:f5:29:05:a9,***** ,***** ,***** ***** ,3090 0 0
-44,ac:bc:32:b5:60:79,***** ,***** ,***** ***** ,4120 0 0
-43,ac:bc:32:b5:60:79,***** ,***** ,***** ***** ,4120 0 0
-38,ac:bc:32:b5:60:79,***** ,***** ,***** ***** ,4326 0 0
-38,ac:bc:32:b5:60:79,***** ,***** ,***** ***** ,4532 0 0

ets Jan 8 2013,rst cause:4, boot mode:(1,6)

wdt reset
```

Figura 23: Ejemplo de reset

La causa de error 4 indica un problema con el *watchdog*. El *watchdog* es un temporizador integrado en la propia arquitectura de la placa, que continuamente va disminuyendo un contador que inicialmente tiene un valor relativamente alto. Cuando este contador llega a cero, se reinicia el sistema. Este error indica que alguna de las operaciones del nuevo *script* tarda demasiado a realizarse, y el *watchdog* de *hardware* propio de la placa reinicia su funcionamiento y por algún motivo este se detiene totalmente.

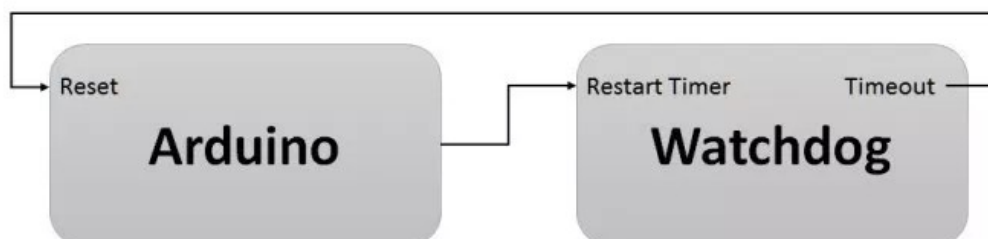


Figura 24: Esquema del funcionamiento de un *watchdog*

Haciendo las funciones *Sniffer* o GPS por separado no existe este problema, por lo que el fallo se atribuye al conflicto creado al juntar los dos procesos en una única ejecución. Se debe diseñar una subrutina en el programa que refresque o reinicie al perro guardián antes de que provoque el reinicio.

Este problema ha causado un atraso mayor del previsto, ya que no existe documentación sobre cómo pueden interactuar este tipo de programas ni sobre el uso de librerías GPS en la placa utilizada. Después de probar diferentes alternativas que ofrecen un mayor margen al *watchdog*, finalmente la solución ha sido eliminar el propio de la placa e insertar uno que permita la ejecución del programa, de forma que cuando sea necesario el *watchdog* reinicie el proceso pero no lo pare definitivamente como sucedía hasta ahora.

Es necesario puntualizar que, después de un problema surgido en la placa NodeMCU que ha requerido un cambio de placa, el perro guardián no ha vuelto a saltar con la misma frecuencia. Por esta razón se atribuye parte de estos problemas al mal estado de la placa que se estaba utilizando inicialmente.

Después de solventar estos problemas se ha logrado que el prototipo funcione de la manera deseada. Al recibir un *probe request*, se añaden al archivo de texto el RSSI y MAC del paquete, junto a la Latitud y Longitud donde se ha registrado y la fecha y hora en la que ha sucedido.

```
-85,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 518
-85,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 537
-86,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 553
-86,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 569
-85,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 585
-85,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 601
-86,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:57 653
-86,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423965 ,2.193755 ,02/25/2019 06:32:58 82
-86,84:c7:ea:de:7a:b8,41.423977 ,2.193677 ,02/25/2019 06:32:58 149
-96,7a:2c:c4:d9:eb:06,41.423977 ,2.193677 ,02/25/2019 06:32:58 215
-93,da:a1:19:50:39:ed,41.423969 ,2.193572 ,02/25/2019 06:33:00 340
-91,da:a1:19:a0:89:3d,41.423969 ,2.193572 ,02/25/2019 06:33:00 407
-90,da:a1:19:f8:7f:e8,41.423920 ,2.193295 ,02/25/2019 06:33:04 479
-89,da:a1:19:3f:47:52,41.423912 ,2.193045 ,02/25/2019 06:33:08 497
-43,da:a1:19:3f:47:52,41.423912 ,2.193045 ,02/25/2019 06:33:08 523
-38,da:a1:19:3f:47:52,41.423912 ,2.193045 ,02/25/2019 06:33:08 540
```

Figura 25: Fragmento de archivo creado por el prototipo

5.3.5. Batería

Debido a la independencia del prototipo respecto al autobús es necesario equiparlo con una batería de litio junto con un dispositivo para cargarla y asegurar su correcto funcionamiento (un cargador de batería LiPo USB).

Este diseño se considera el definitivo del prototipo, aunque ha dado ciertos problemas. Al cabo de un tiempo utilizando la batería de litio como fuente de alimentación para el prototipo, el GPS pierde la señal del satélite y no la recupera. Este hecho se puede deber a una falta de potencia proporcionada, pero las diferentes funciones por separado se comportan correctamente usando la batería. Se han realizado pruebas utilizando una batería portátil de teléfono móvil, con la cual el dispositivo también ha funcionado correctamente un tiempo pero finalmente el GPS se ha vuelto a desconectar.

Es necesario hacer un análisis de las necesidades de cada componente para dimensionar la batería correctamente. Es posible que se trate de un conflicto entre los programas que hace que el consumo sea inestable, por lo que se requiere observar la señal con un osciloscopio. Al utilizar el prototipo conectado a un ordenador como fuente de alimentación no ha presentado ningún problema, por lo que se ha decidido continuar con la experimentación debido a la gran cantidad de tiempo ya invertido en este aspecto.

De esta forma, para realizar pruebas de campo con el prototipo se ha optado por utilizarlo conectado a un ordenador portátil, ya que no supone una carga adicional demasiado grande y su eficacia ha sido comprobada durante el desarrollo del proyecto.

5.3.6. Posición dentro del vehículo y carcasa

Al tratarse de un único dispositivo es importante que se sitúe en el punto más central posible del autobús, para detectar de forma correcta los datos emitidos por pasajeros en ambos extremos del vehículo. Debe colocarse en un lugar fuera del alcance de los pasajeros, pero accesible para el operario que deba supervisar su correcto funcionamiento. El lugar elegido para colocar el dispositivo en los autobuses de TMB es el interior del armario situado en el inicio del segundo vagón del autobús, que se puede observar en la figura 26.



Figura 26: Ubicación del dispositivo dentro del autobús, en la parte superior izquierda

Como se trata de un prototipo no se ha considerado necesario diseñar una carcasa específica para el proyecto, ya que se trata una inversión de tiempo y recursos en algo que no influye en el cumplimiento de los objetivos establecidos. El contenedor elegido debe ser ligero y proteger los componentes. Durante el desarrollo del sistema y al realizar diversas pruebas, se ha observado que el dispositivo se calienta bastante, por lo que el diseño definitivo debe considerar la correcta ventilación del interior.

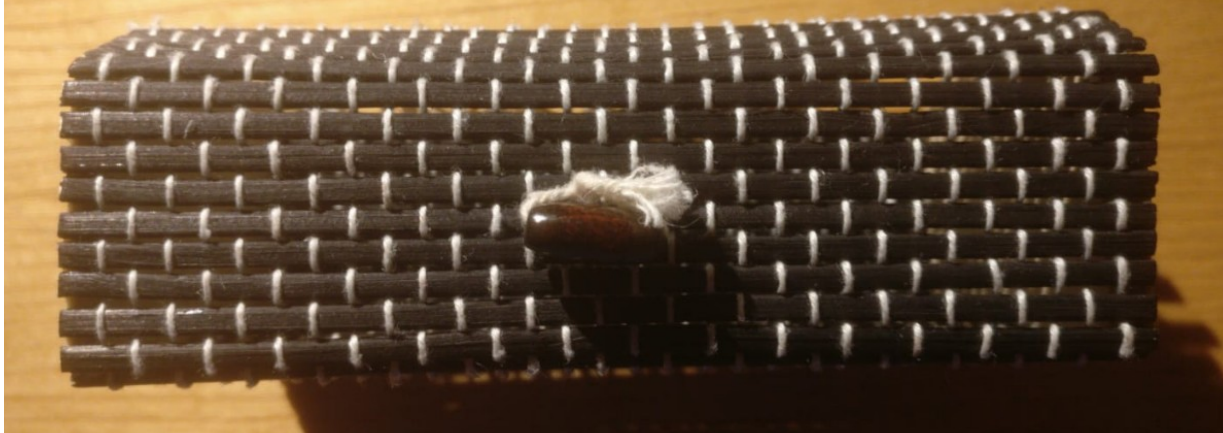


Figura 27: Carcasa provisional elegida para el proyecto. Tiene el tamaño adecuado, es ligera y además permite la ventilación del interior.

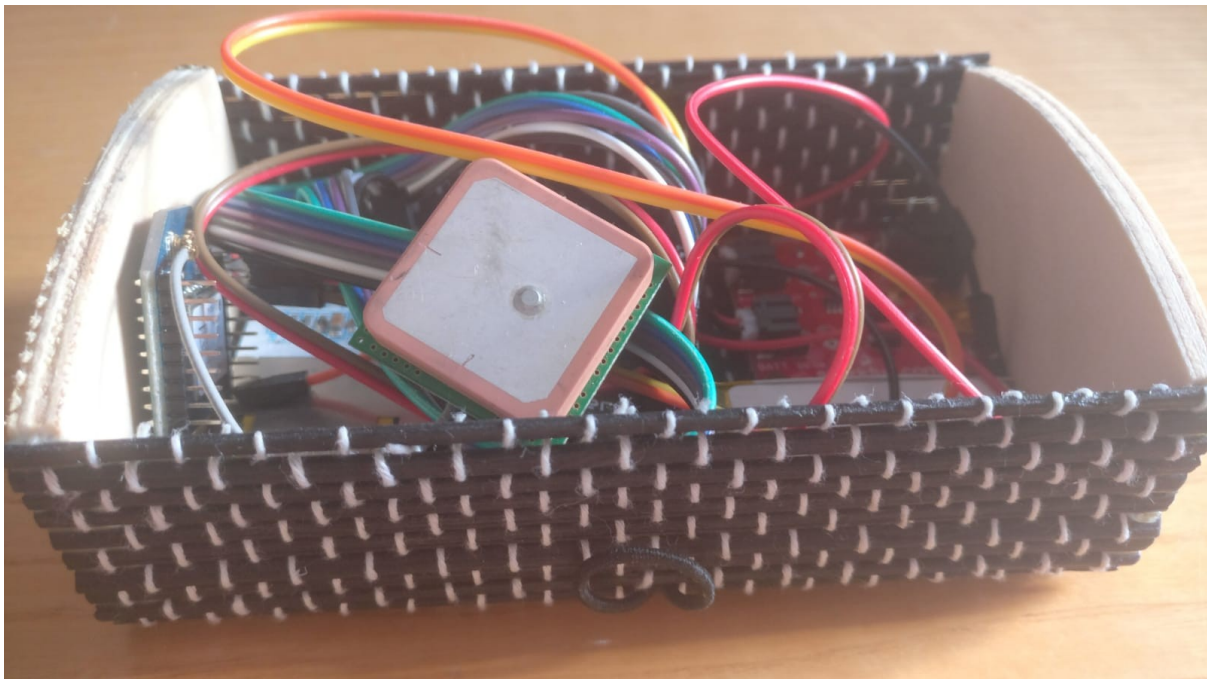


Figura 28: La carcasa con todos los elementos dentro y las conexiones realizadas: módulo SD, antena cerámica, módulo GPS, placa NodeMCU, batería de litio y cargador LiPo USB.

5.3.7. Esquema del prototipo

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, las conexiones se realizaron finalmente utilizando todos los pines del lado derecho de la placa NodeMCU. Sin embargo, dado que un esquema con tales conexiones resultaría difícil de entender para el lector, se ha hecho un esquema alternativo más claro que también funciona de manera correcta.

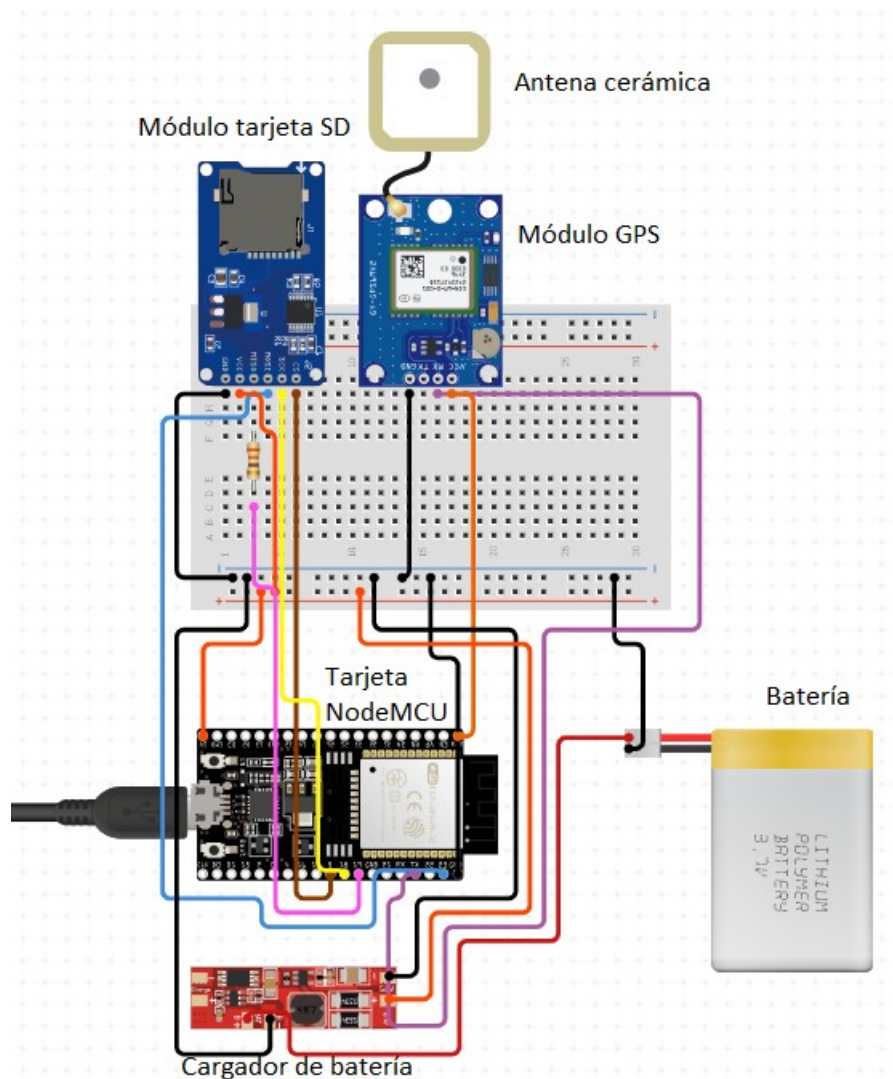


Figura 29: Esquema de conexiones.

6. Pruebas con el prototipo

En este apartado se explican las pruebas de campo realizadas con el prototipo. No se profundiza en el análisis o la calidad de los datos obtenidos ya que estos aspectos son tratados a fondo en la parte del proyecto realizada por Guillem Pérez, pero se relatan la experiencias que se han llevado a cabo y se muestran algunos de los resultados obtenidos con tal de complementar las explicaciones sobre el proyecto.

6.1. RSSI

El parámetro usado para filtrar los datos y decidir si se corresponden con un teléfono móvil dentro o fuera del autobús es el RSSI. Los datos registrados muestran un valor numérico que se asocia a la intensidad del señal recibido, por lo que se han realizado una serie de experimentos para decidir a partir de qué valor un dato se considera relevante o no.

La experiencia se ha dividido en dos partes, una primera sin ningún obstáculo entre el *Sniffer* i el *smartphone*, y una segunda con una ventana de cristal separando ambos, que simula la pared del autobús.

Los datos correspondientes a la prueba se muestran en el anexo del trabajo, y la conclusión ha sido que aquellos datos con un RSSI de valor absoluto mayor a 90 corresponden a *probe requests* de teléfonos situados fuera del autobús, por lo que no deben ser considerados en el procesado de datos.

6.2. Obtención de datos

Una vez el prototipo ha sido terminado y el programa funciona correctamente se ha procedido a realizar pruebas de campo con el dispositivo. En este trabajo no se explica cómo los datos obtenidos son analizados, pero se adjuntan algunos gráficos obtenidos después de este análisis para comprender mejor los resultados del proyecto.

6.2.1. Prueba de campo en Barcelona

En primera instancia se han realizado dos viajes de 30 minutos en un autobús con el dispositivo conectado al ordenador como fuente de alimentación. Esto ha mostrado que el dispositivo funciona de forma correcta.

El proyecto ha sido de interés para la empresa TMB, por lo que se ha realizado una prueba oficial con su apoyo en la línea H6. Es una de las líneas de autobús con más pasajeros por día de toda España, con una media de 38.000 pasajeros cada día. Cerca de 30 autobuses recorren la línea a diario, cada uno con una capacidad de 112 pasajeros de pie, 34 sentados y 2 sillas de ruedas. La prueba ha consistido en recorrer la línea entera dos veces recogiendo datos sobre la ocupación del autobús utilizando el dispositivo. Durante la prueba se ha realizado también el recuento manual de usuarios subiendo y bajando del vehículo para contrastar la información ofrecida por el *Sniffer* con la realidad.

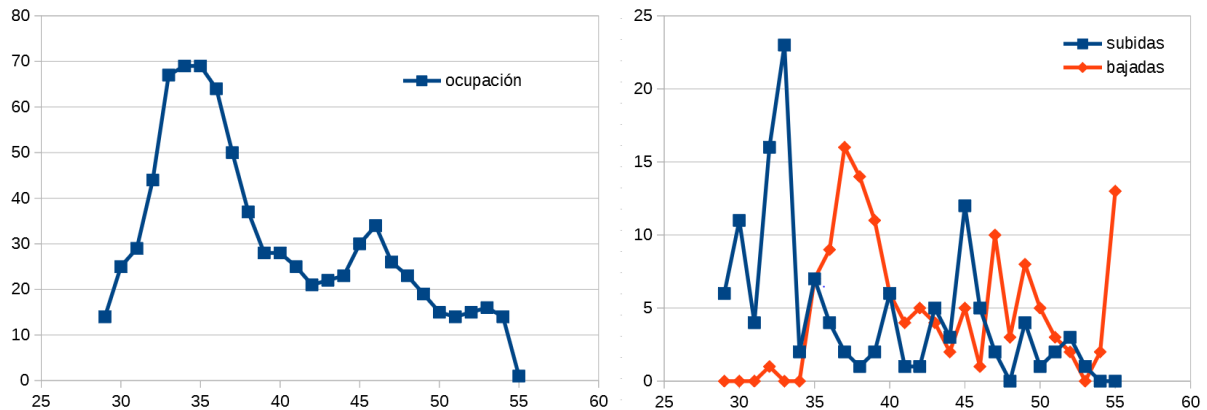


Figura 30: Datos sobre la ocupación de la línea H6 realizando recuento manual.

Estudio línea H6



Figura 31: Datos sobre la ocupación de la línea H6 utilizando los datos del *Sniffer*.

Como se puede apreciar, el *Sniffer* solamente detecta un porcentaje de los usuarios reales del servicio de autobuses. Este porcentaje depende de factores relacionados con los usuarios, básicamente los relacionados con el hecho de si llevan el *smartphone* encima y con el WiFi activado (factores culturales, de edad y respecto al momento del día).

La forma de encontrar esta relación de manera precisa es realizar muchas pruebas con el dispositivo. En el caso de la línea H6 de Barcelona se han detectado de forma correcta un 39% de los usuarios. A pesar de que este porcentaje puede parecer insuficiente, se observa que los dos gráficos se comportan de forma muy parecida, por lo que se deduce que el sistema se puede utilizar para estudiar la ocupación de la línea.

6.2.2. Prueba de campo en Viena

A pesar de disponer de datos de diferentes viajes en Barcelona con los que comparar la realidad con lo que capta el prototipo se ha decidido realizar pruebas de mayor extensión en la ciudad de Viena, en la que los autores han vivido durante 6 meses.

Durante 5 días laborables se ha realizado la misma prueba en la línea 59, obteniendo datos utilizando el prototipo y se llevando a cabo el recuento manual de los usuarios que han subido y bajado en cada parada.

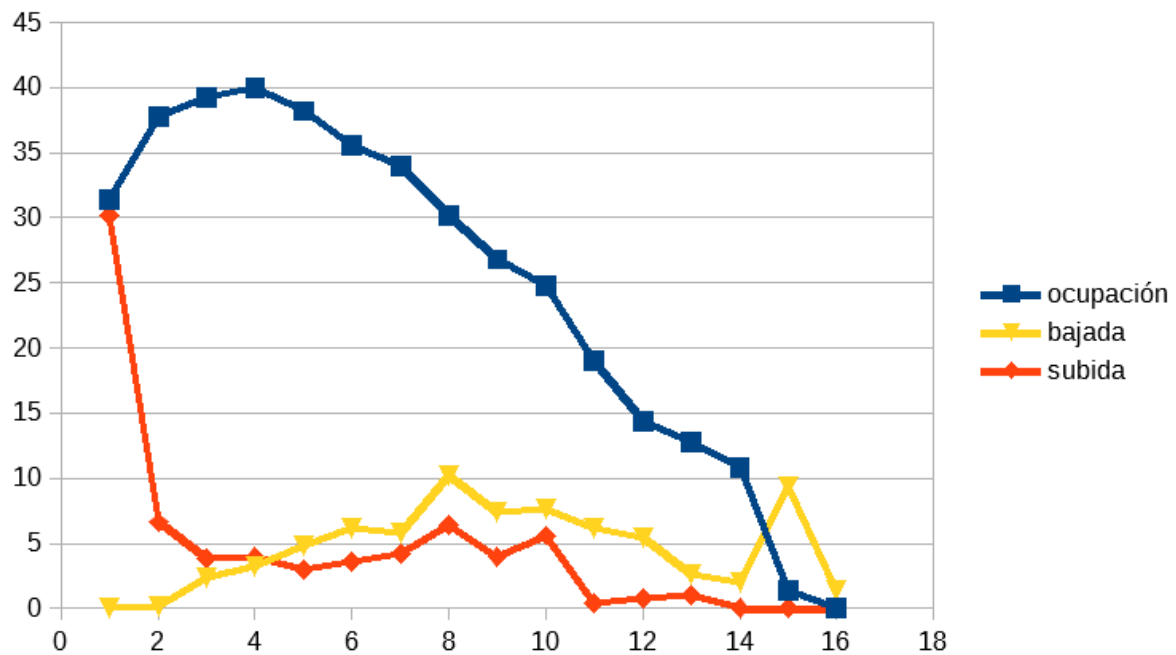


Figura 32: Datos sobre la ocupación media de la línea 59A, obtenidos del estudio a lo largo de 5 días laborables.

Estudio línea 59A

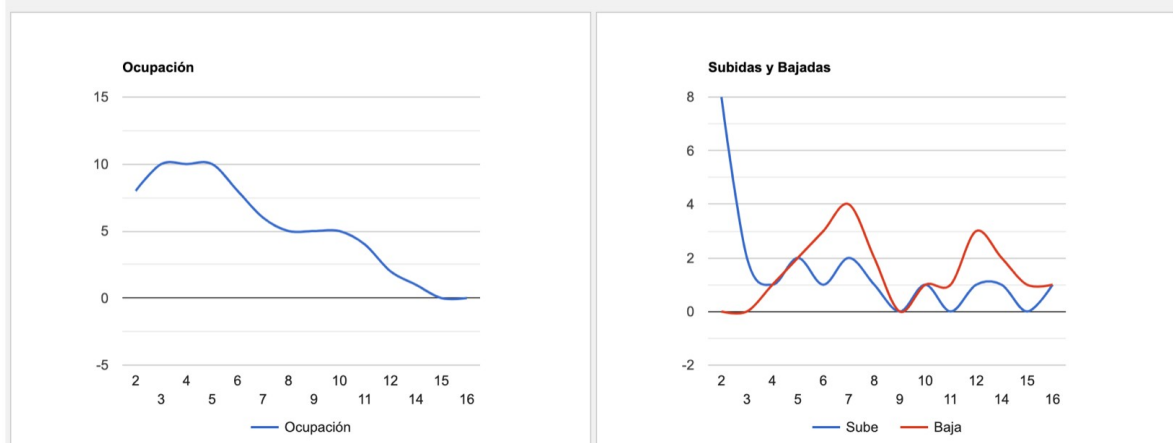


Figura 33: Información sobre la ocupación de la línea 59A utilizando los datos del *Sniffer*.

Esta experiencia ha permitido definir con mayor precisión el proceso de integración del sistema en un nuevo ambiente. Se ha observado que el porcentaje de gente que se detecta en Viena es menor al de Barcelona (en el caso de Viena únicamente un 18% de los usuarios han sido detectados), ya sea porque en la ciudad el porcentaje de ciudadanos que lleva el WiFi activado en el transporte público es menor o porque en concreto la línea elegida tiene de media más usuarios que no llevan teléfono con internet encima en el intervalo horario elegido para el estudio. A pesar del porcentaje de detección relativamente bajo se observa la correlación entre el análisis de datos y la realidad, por lo que el dispositivo sigue siendo de utilidad en este caso.

La conclusión que surge de esta diferencia es que llegado el momento de utilizar el *Sniffer* como método para conocer la ocupación en una línea, es necesario realizar un estudio particular sobre la relación entre la realidad y lo que el dispositivo observa, ya que esta relación puede variar en cada línea de autobús.

7. Presupuesto e impacto medioambiental

7.1. Presupuesto

En este capítulo se exponen los costes relacionados con el desarrollo del prototipo. Únicamente se tiene en cuenta la primera fase del proyecto, el diseño y construcción del prototipo explicados en este trabajo, ya que la segunda fase se desarrolla en la memoria realizada por Guillem Pérez.

El presupuesto se divide en dos partes, una primera en la que se detalla el precio de los materiales necesarios para construir el prototipo y una segunda en la que se detalla la duración aproximada de las diferentes fases del proyecto. El coste orientativo de un proyecto de esta naturaleza es de 30€/hora .

Material	Precio con IVA
Tarjeta kodak microSD 8 GB	6,49 €
Tarjeta kodak microSD 32 GB	4,07 €
Pack cables 30cm Hembra-Hembra	5,93 €
GPS Bee con mini antena cerámica	19,35 €
Adaptador tarjeta SD (2 uds)	4,79 €
Batería LiPo 900mAh	8,17 €
Cargador batería LiPo USB	17,55 €
Rohs para conector hembra (2 uds)	0,27 €
Caja negra (Carcasa)	1,00 €
AZ Delivery NodeMCU ESP8266 (2 uds)	13,98 €
Total coste prototipo	81,60 €

Fase Proyecto	Subfase	Horas dedicadas
Estudio Previo	Servicio de autobuses actual	20h
	Necesidades de usuario	15h
	Entrevistas	35h
	Exploración de opciones	40h
Construcción del prototipo	Aprendizaje software	35h
	Fase 1:módulos por separado	40h
	Fase 2:combinación y problemas	85h
Prueba de campo	Barcelona	25h
	Viena	35h
Redacción		50h
Total horas		380h
Coste trabajo	30€/hora	11.400,00 €

Concepto	Coste
Materiales	81,60 €
Construcción prototipo	11.400,00 €
Total coste proyecto	11.481,60 €

7.2. Impacto ambiental

En este apartado se evalúa el llamado Impacto Ambiental del proyecto (EIA). Si se implementara a gran escala el sistema propuesto en el trabajo sería necesario reconsiderar algunas de las elecciones tomadas, como por ejemplo el uso de baterías de litio. Al tratarse de un único prototipo en un proyecto a pequeña escala, el impacto negativo de utilizar productos dañinos sobre el medio ambiente es mínimo, pero en un proyecto de mayor envergadura es imprescindible considerar esta faceta al elegir los componentes del sistema.

A pesar de ser un proyecto a pequeña escala el uso de componentes electrónicos hace que realizar este apartado sea necesario, ya que algunos de estos componentes pueden tener efectos desastrosos sobre el medio ambiente si no son tratados correctamente al final de su vida útil.

A continuación se clasifican los componentes utilizados según las medidas necesarias cuando el prototipo deba ser desechado:

-Caja: la carcasa elegida es de madera. No es un material que sea especialmente perjudicial para el medio, pero debe ser depositado con la basura orgánica para evitar la acumulación de residuos en vertederos y zonas no destinadas para ello.

-Componentes electrónicos: esta división hace referencia a los cables utilizados, las diferentes placas y la antena cerámica del GPS. Algunos componentes electrónicos contienen materiales perjudiciales para el medio ambiente y para la salud, como son el cadmio, mercurio o plomo. Existe legislación específica (Legislación de los RAEE, 2018) para este tipo de productos, que define qué hay que hacer para cada tipo de ellos. El procedimiento óptimo a seguir en este caso es llevar los componentes a un punto verde de recogida de residuos, donde aquellos que sean peligrosos serán separados, mientras que el resto serán tratados como materia de rechazo convencional.

-Batería de litio: es el elemento más contaminante del prototipo. El motivo de ello es que tiene componentes que pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente, ya que al contener materiales base como el cobalto pueden contaminar suministros de agua subterránea. También hay legislación específica referente a su tratado (Legislación de pilas y acumuladores, 2018), es necesario desecharla en un punto verde o en puntos de recogida específicos para baterías.

8. Conclusiones y futuros proyectos

8.1. Conclusiones

El proyecto ha consistido en el desarrollo de un sistema no invasivo que permite obtener datos sobre el transporte público, para más adelante tratar estos datos y poder mejorar la eficiencia del servicio.

Después de un estudio sobre el servicio actual y valorar diferentes alternativas, se ha optado por el diseño de un dispositivo *Sniffer*, el cual permite contar los pasajeros que llevan el teléfono móvil con la conexión WiFi activada. Este porcentaje de usuarios detectados es suficiente para obtener datos significativos sobre la ocupación del vehículo.

La información obtenida por el dispositivo consiste en una lista de los dispositivos que se detectan, junto al lugar y hora en el que se ha detectado cada uno. Se presenta en un formato claro, que facilita su posterior tratado.

El prototipo se ha construido utilizando una placa NodeMCU y módulos de tecnología Arduino, ya que son una alternativa económica para llevar a cabo este proyecto sin renunciar a todo aquello necesario para su éxito. La placa ya incluye conexión WiFi, por lo que solo ha sido necesario incorporar módulos GPS y de ranura SD, además de una batería. Se ha optado por guardar la información en una tarjeta SD, la cual debe ser vaciada de forma periódica, ya que es una opción más sencilla y accesible que no crear un servidor y programar la placa para enviar los datos al encontrar un WiFi determinado.

El estudio realizado con las baterías no ha sido suficiente, ya que al cabo de un tiempo funcionando el dispositivo pierde la señal GPS. El uso de diferentes módulos con necesidades diversas hace que una batería convencional de 900mAh o una batería portátil para teléfono móvil no sean adecuadas para alimentar el prototipo. El dispositivo funciona de forma correcta al conectarse a un portátil, por lo que se ha optado por continuar el trabajo a pesar de este punto.

La viabilidad del uso de *Sniffers* para este fin está sujeta a la necesidad de realizar un estudio sobre el porcentaje de pasajeros que se detectan en cada línea de autobuses. Se ha observado que en el caso de Barcelona (39%) se detecta un porcentaje mayor de pasajeros que en Viena (18%), hecho que muestra que este porcentaje es afectado por el tipo de población que se analiza. La necesidad de este estudio previo puede hacer inviable la aplicación de este sistema si llevar a cabo este estudio es demasiado complicado o costoso. Al tratarse de un prototipo, es previsible que el sistema definitivo sea más fiable y detecte a una mayor parte de los viajeros, por lo que es posible que al crear un dispositivo de mejor calidad este estudio deje de ser necesario.

A pesar de ello, se han obtenido datos que muestran la tendencia de ocupación en las diferentes líneas de autobuses utilizando el prototipo de bajo coste, por lo que se considera que es una alternativa válida que merece ser explorada en proyectos de mayor alcance.

Respecto los objetivos que se plantearon al iniciar el proyecto, se deben hacer las siguientes valoraciones.

Se ha realizado de forma satisfactoria un estudio del servicio actual observando posibles mejoras a implementar. Actualmente no se monitoriza con precisión el flujo de usuarios en el servicio de autobuses, pero a través de encuestas y de datos sobre los pasajeros que suben en cada parada se ha organizado el servicio de manera satisfactoria.

Las mejoras exploradas tienen en cuenta las necesidades de usuario y la legalidad vigente. Suponen posibles la implementación de sistemas *Big Data* que resultarían útiles para ofrecer un servicio de autobuses más eficiente.

Se ha conseguido diseñar un dispositivo funcional capaz de obtener información relevante para mejorar el servicio de transporte público. El prototipo captura datos sobre los pasajeros que suben y bajan del vehículo, junto al lugar y momento en el que esto sucede. El dispositivo ha detectado un 39% de los pasajeros en la línea H6 de Barcelona y un 18% en la línea 59A de Viena. Estas diferencias se deben a la variabilidad en el ambiente, pero en ambas situaciones la información es suficiente para que los datos reflejen las variaciones en la ocupación del vehículo.

El uso de *Sniffers* es una opción viable para obtener la información deseada, aunque la experiencia ha revelado que se requiere un estudio complementario al implementar el sistema ya que el porcentaje de usuarios detectados depende del ambiente. Utilizar un equipo de mayor sensibilidad y fiabilidad en la detección puede ser la solución para este inconveniente.

8.2. Futuros proyectos

Habiendo observado la viabilidad de esta alternativa, el siguiente paso es realizar una prueba con diversos dispositivos para estudiar de forma exhaustiva el transporte en una línea de autobús. Este nuevo estudio presenta nuevos retos sobretodo en el ámbito de procesado de datos.

Al llevar a una escala mayor el proyecto debe considerarse la opción de integrar el sistema al propio autobús. Esta opción es más económica que construir muchos dispositivos, además de lo perjudicial para el medio ambiente que sería el uso de las correspondientes baterías. Así pues, sería necesario un nuevo diseño de *Sniffer*, esta vez integrado en el ordenador del propio autobús o como mínimo con acceso a su ordenador y pudiendo utilizar el vehículo como fuente de alimentación.

Respecto al prototipo, el único apartado con el que no se ha logrado el éxito esperado es el uso de la batería. Usando la batería de litio, el GPS no es capaz de mantener la conexión con el satélite durante un período suficiente, y utilizando una batería de móvil también pierde conexión al cabo de un tiempo. Es necesario realizar un estudio sobre las necesidades de alimentación del dispositivo para dimensionar correctamente la batería, pero al disponer de una alternativa que funciona correctamente (conectar el prototipo a un ordenador portátil) se ha decidido no invertir más recursos en este aspecto de momento. El prototipo ha funcionado correctamente conectado al voltaje ofrecido por un ordenador, por lo que este problema no ha frenado el avance del proyecto.

Existen factores externos como la celebración de un evento importante para la ciudad o la lluvia que afectan a la ocupación del autobús, así que un futuro proyecto sería también incorporar este tipo de información a los datos. Para poder incorporar estos factores sería necesario aplicar el proyecto a gran escala para obtener un gran volumen de datos, y poder aplicar de forma adecuada métodos propios de *Big Data*.

La información que ofrece este sistema tiene un potencial mucho mayor a únicamente consultar y predecir la ocupación de la línea en determinadas circunstancias. Se podría estudiar donde sube y donde baja cada persona en cierta ocasión, ofreciendo así información muy útil para planificar el transporte en una ciudad. Usando estos datos se podrían crear nuevas líneas de autobús que sean más eficientes que las actuales, gracias a los patrones de movilidad observados en los datos obtenidos.

9. Agradecimientos

Debo agradecer en primera instancia a mi compañero de proyecto y amigo Guillem Pérez Bartolomé todo el esfuerzo y dedicación que ha mostrado al proyecto. Un trabajo de esta naturaleza siempre tiene sus momentos de frustración y al realizarlo en equipo hemos podido llevarlo mucho más lejos.

Agradecer también a nuestros tutores Jose Luis Eguia Gómez y Lluís Solano Albajes, por la gran disponibilidad y ayuda ofrecidas para guiar el proyecto. Su interés personal y consejos nos han mostrado nuevos enfoques que han logrado exprimir el potencial del proyecto.

Gracias por la ayuda y el tiempo dedicado al proyecto a Mario Armengol (Responsable del proyecto educativo TMB), Joan Carsi Pérez (Director de Explotación y Desarrollo de Tram Barcelona) y Josep Pradas Brun (Encargado de material móvil e instalaciones de la cochera Triangle de Barcelona).

Gracias también a nuestro amigo Víctor Díaz Barba, estudiante de estadística en la Universidad Carlos III, por su colaboración en las pruebas realizadas en Viena.

También agradecer por supuesto a mi familia todo el apoyo a lo largo del proyecto y de mi vida en general.

A todos, muchas gracias.

10. Bibliografía

10.1. Referencias bibliográficas

Se han referenciado las siguientes fuentes, que se muestran en orden de aparición a lo largo del texto.

Fernández de Lara Soria, Carlos (2015). Los riesgos de nunca apagar el WiFi de tu cel - Chilango. Recuperado de <https://www.chilango.com/tecnologia/los-riesgos-de-nunca-apagar-el-wifi-de-tu-cel/> [Consulta 12 Oct 2018]

Prieto, M. (2018). Moovit, 'big data' al servicio de la movilidad urbana. Recuperado de <http://www.expansion.com/economia-digital/companias/2018/11/13/5be0937122601dce5f8b4628.html> [Consulta 12 Oct 2018]

Endeiza (2018). Bilbao adapta el Big Data para mejorar el tráfico. Recuperado de <https://bilbaohiria.com/bilbao/bilbao-adapta-el-big-data-para-mejorar-el-trfico/> [Consulta 12 Oct 2018]

Conteo automático de pasajeros - DILAX. (2018). Recuperado de <https://www.dilax.com/es/public-mobility/cartera/conteo-automatico-de-pasajeros/> [Consulta 18 Nov 2018]

Ladrero, Iñaki (2018). Las 4 V's del Big Data - BAOSS. Recuperado de <https://www.baoss.es/las-4-vs-del-big-data/> [Consulta 6 Nov 2018]

EUGDPR (2018). Key Changes with the General Data Protection Regulation. Recuperado de <https://eugdpr.org/the-regulation/> [Consulta 8 Dic 2018]

20 minutos (2017). Los viajeros puntúan con un 7,60 la red de autobuses de Barcelona y con un 7,50 la del metro. Recuperado de <https://www.20minutos.es/noticia/2954353/0/estudio-anual-satisfaccion-tmb-autobuses-metro-barcelona/> [Consulta 8 Dic 2018]

Akindustronic (2014). Contador De Personas Barrera Infrarroja Con Micro Sd - \$ 8,900.00. Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-609458561-contador-de-personas-barrera-infrarroja-con-micro-sd-_JM?quantity=1 [Consulta 18 Nov 2018]

Juste, M. (2018). Las cifras de Internet: En España el 85% de la población está conectada. Recuperado de <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2018/02/01/5a72e73a22601db2288b4658.html> [Consulta 22 Nov 2018]

Kopytoff, V. (2013). For Retailers, Tracking Shoppers Brings New Insights. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/520811/stores-sniff-out-smartphones-to-follow-shoppers/> [Consulta 18 Nov 2018]

Legislación de los RAEE | Reciclaje electrónico y gestión de RAEE. (2018). Recuperado de <https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/legislacion/legislacion-los-raee/> [Consulta 22 Nov 2018]

Legislación de pilas y acumuladores | Reciclaje electrónico y gestión de RAEE. (2018).

Recuperado de

<https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/legislacion/legislacion-pilas-acumuladores/> [Consulta 22 Nov 2018]

10.2. Bibliografía complementaria

- ATM | Observatori de la mobilitat. (2018). Recuperado de <https://www.atm.cat/web/ca/observatori/enquestes-de-mobilitat.php> [Consulta 12 Oct 2018]
- Open Data BCN | Servicio de datos abiertos del Ajuntament de Barcelona. (2018). Recuperado de <https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/es/> [Consulta 12 Oct 2018]
- Dades bàsiques Basic data 2019. (2018). Recuperado de https://www.tmb.cat/documents/20182/94438/Dades+viatgers+bus+metro+2019_CA_EN/3f6c014d-4dd3-46d0-b688-26989e763677 [Consulta 12 Oct 2018]
- Dades demanda 2019. (2018). Recuperado de https://observatori.atm.cat/seguiment-de-la-demanda/2019/Seguiment_demanda_febrer_2019.pdf [Consulta 12 Oct 2018]
- EMEF 2017. (2018). Recuperado de https://observatori.atm.cat/enquestes-de-mobilitat/Enquestes_ambit_ATM/EMEF/2017/EMEF_2017_Informe_AMB.pdf [Consulta 26 Oct 2018]
- ENCUESTAS DE MOVILIDAD – IERMB. (2018). Recuperado de <https://iermb.uab.cat/es/encuestas/encuestas-de-movilidad/> [Consulta 26 Oct 2018]
- Cortés, Marc (2016). How big data will revolutionize tourism management | Marc Cortés | TEDxBarcelonaSalon. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?time_continue=16&v=KENKtzroeK0 [Consulta 6 Nov 2018]
- Portal Transparencia TMB | Transports Metropolitans de Barcelona. (2018). Recuperado de <https://www.tmb.cat/es/portal-transparencia> [Consulta 26 Oct 2018]
- Public Mobility - DILAX. (2018). Recuperado de <https://www.dilax.com/es/public-mobility/> [Consulta 6 Nov 2018]
- TMB Educa – Actividades para escuelas | Fundación TMB. (2018). Recuperado de <https://fundacio.tmb.cat/es/tmb-educa> [Consulta 6 Nov 2018]
- Aprende cómo utilizar Big Data en procesos de movilidad - Moviliblog. (2017). Recuperado de https://blogs.iadb.org/transporte/es/big_data_y_movilidad/ [Consulta 6 Nov 2018]
- Big Data en las ciudades y ejemplos perfectos de utilidad | OVACEN. (2018). Recuperado de <https://ovacen.com/big-data-en-las-ciudades-y-ejemplos-perfectos-de-utilidad/> [Consulta 6 Nov 2018]
- Conteo automático de pasajeros - DILAX. (2018). Recuperado de <https://www.dilax.com/es/public-mobility/cartera/conteo-automatico-de-pasajeros/> [Consulta 6 Nov 2018]
- Asociación Argentina de Carreras-Big Data (2018). Recuperado de <http://www.aacarreteras.org.ar/pdf/Big-Data-Espanol.pdf> [Consulta 18 Nov 2018]
- ATM | Observatori de la mobilitat. (2018). Recuperado de

<https://www.atm.cat/web/ca/observatori/enquestes-de-mobilitat.php> [Consulta 18 Nov 2018]

Barreras infrarrojas para camión autobús contador de pasajeros. (2015). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3Q-sf23JyNA> [Consulta 18 Nov 2018]

Demostración Conteo de personas mediante cámara. (2013). Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=nQ4N5_gavfQ [Consulta 18 Nov 2018]

La revolución del reconocimiento facial: software que identifica edad, cansancio, emociones... | Observatorio IA. (2016). Recuperado de <https://observatorio-ia.com/nuevo-software-de-reconocimiento-facia> [Consulta 18 Nov 2018]

Castellon, Alejandro (2015). TecnoCosas » Software para contar objetos y personas TecnoCosas. Recuperado de <https://www.tecnocosas.es/software-contar-objetos-personas/> [Consulta 18 Nov 2018]

Como Funciona el Sistema de Conteo de Cámara. (2014). Recuperado de <https://www.retailsensing.com/espanol/conteo-de-camara.html> [Consulta 22 Nov 2018]

ENCUESTAS DE MOVILIDAD – IERMB. (2018). Recuperado de <https://iermb.uab.cat/es/encuestas/encuestas-de-movilidad/> [Consulta 12 Nov 2018]

Puertas de autobús | BEA Europe. (2018). Recuperado de <https://www.bea-sensors.com/es/segmentos/public-transportation-solutions/puertas-de-autobus> [Consulta 22 Nov 2018]

GDPR. La nueva ley de protección de datos de Europa. (2018). Recuperado de <https://www.eoi.es/blogs/mbigdata/2017/06/18/gdpr-la-nueva-ley-de-proteccion-de-datos-de-europa/> [Consulta 8 Dic 2018]

La mejor nota en 10 años en el metro y autobús de Barcelona. (2017). Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20170207/414093076319/satisfaccion-metro-bus-barcelona-tmb.html> [Consulta 8 Dic 2018]

Los viajeros puntúan con un 7,60 la red de autobuses de Barcelona y con un 7,50 la del metro. (2017). Recuperado de <https://www.20minutos.es/noticia/2954353/0/estudio-anual-satisfaccion-tmb-autobuses-metro-barcelona/> [Consulta 8 Dic 2018]

¿Qué es un sniffer? | VIU. (2018). Recuperado de <https://www.universidadviu.com/que-es-un-sniffer/> [Consulta 22 Nov 2018]

Web Oficial Raspberry Pi (2018). Recuperado de <https://www.raspberrypi.org/> [Consulta 22 Nov 2018]

A Raspberry Pi based Wifi Packet Capture Workhorse. (2017). Recuperado de <https://medium.com/@elkentaro/snoopi-a-raspberry-pi-based-wifi-packet-capture-workhorse-part-1-n-for-snoopi-1fa14ed67e01> [Consulta 22 Nov 2018]

Aprende cómo utilizar Big Data en procesos de movilidad - Moviliblog. (2017). Recuperado de https://blogs.iadb.org/moviliblog/2017/11/01/big_data_y_movilidad/ [Consulta 22 Nov 2018]

- ESP8266 Mini Sniff. (2018). Recuperado de <https://www.hackster.io/rayburne/esp8266-mini-sniff-f6b93a> [Consulta 22 Nov 2018]
- GPS Raspberry. (2018). Recuperado de <https://www.google.es/amp/s/m.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/si-quieres-un-gps-para-tu-raspberry-pi-este-probablemente-es-el-mejor/amp> [Consulta 22 Nov 2018]
- HakTip - WiFi 101: Probe Requests and Responses. (2011). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ixyVdmSdNxs> [Consulta 22 Nov 2018]
- Fernández de Lara Soria, Carlos (2015). Los riesgos de nunca apagar el WiFi de tu cel - Chilango. Recuperado de <https://www.chilango.com/tecnologia/los-riesgos-de-nunca-apagar-el-wifi-de-tu-cel/> [Consulta 22 Nov 2018]
- Llomas, Lluís (2016). Localización GPS con Arduino y los módulos GPS NEO-6. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6> [Consulta 22 Nov 2018]
- NodeMcu Lua WIFI Development Board For ESP8266 Module Module Board For Arduino from Electronics. (2018). Recuperado de <https://m.banggood.com/NodeMcu-Lua-WIFI-Development-Board-For-ESP8266-Module-p-976440.html?p=PU22124098863201603C> [Consulta 8 Dic 2018]
- Del Valle Hernández, Lluís (2018). Introducción a Node-RED y Raspberry Pi: sistema de alarma con Arduino. Recuperado de <https://programarfacil.com/blog/raspberry-pi/introduccion-node-red-raspberry-pi/> [Consulta 8 Dic 2018]
- SSID. (2019). Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/SSID> [Consulta 20 Ene 2019]
- Tutorial Módulo GPS con Arduino. (2019). Recuperado de https://naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-Módulo-GPS-con-Arduino.html [Consulta 20 Ene 2019]
- NEO6MV2 GPS Module with Arduino Uno HOW-TO. (2018). Recuperado de <http://arduinostuff.blogspot.com/2014/05/neo6mv2-gps-module-with-arduino-uno-how.html?showComment=1452217636711&m=1#c4484068631114653257> [Consulta 20 Ene 2019]
- NodeMCU(2018). Recuperado de <https://campus.programarfacil.com/introduccion-nodemcu-esp8266/> [Consulta 20 Ene 2019]
- Lopez, Sergio (2017). Cómo configurar los canales WiFi para un mejor rendimiento de la red – blog.gridtechmexico.com. Recuperado de <http://blog.gridtechmexico.com/938-2/> [Consulta 20 Ene 2019]
- Cómo programar ESP8266 con el IDE de Arduino. (2017). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=0g7sazWXfEI> [Consulta 20 Ene 2019]
- Martín, Germán (2018). Cómo programar NodeMCU con IDE Arduino, tutorial paso a paso. Recuperado de <https://programarfacil.com/esp8266/como-programar-nodemcu-ide-arduino/> [Consulta 20 Ene 2019]
- Martín, Germán (2018). Cómo programar NodeMCU con IDE Arduino, tutorial paso a paso. Recuperado de <https://programarfacil.com/esp8266/como-programar-nodemcu-ide-arduino/> [Consulta 20 Ene 2019]
- Esp8266/Arduino. (2019). Recuperado de <https://github.com/esp8266/arduino> [Consulta 20 Ene 2019]

- Llomas, Luis (2018). NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/> [Consulta 20 Ene 2019]
- Arduino Watchdog. (2019). Recuperado de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/arduino-watchdog/> [Consulta 22 Ene 2019]
- Arduino-Watchdog-Handler. (2019). Recuperado de <https://github.com/combs/Arduino-Watchdog-Handler> [Consulta 22 Ene 2019]
- ESP8266: Watchdog functions. (2017). Recuperado de <https://techtutorialsx.com/2017/01/21/esp8266-watchdog-functions/> [Consulta 22 Ene 2019]
- Home | Microchip Technology. (2018). Recuperado de http://www.atmel.com/webdoc/AVRLibcReferenceManual/group__avr__watchdog.html [Consulta 22 Ene 2019]
- rst cause:4, boot mode:(3,7) - ESP8266 Developer Zone. (2017). Recuperado de <https://bbs.espressif.com/viewtopic.php?t=3311> [Consulta 22 Ene 2019]
- Using Software uart · Issue #9 · kalanda/esp8266-sniffer. (2017). Recuperado de <https://github.com/kalanda/esp8266-sniffer/issues/9> [Consulta 22 Ene 2019]
- Watch Dog Timers | Tienda y Tutoriales Arduino. (2019). Recuperado de <https://www.prometec.net/watch-dog-timer/> [Consulta 22 Ene 2019]
- TinyGPS. (2019). Recuperado de <https://github.com/mikalhart/TinyGPS> [Consulta 22 Ene 2019]
- Subirana, Jordi (2017). El H6, el bus con más pasajeros de Barcelona. Recuperado de https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/movilidad/el-h6-el-bus-con-mas-pasajeros-de-barcelona_4931_102.html [Consulta 28 Ene 2019]
- Línea H6 bus Barcelona | Transports Metropolitans de Barcelona. (2019). Recuperado de <https://www.tmb.cat/es/barcelona/autobuses/-/lineabus/H6> [Consulta 28 Ene 2019]
- Linie 59A(2019). Recuperado de https://www.wienerlinien.at/media/download/2016/Linie_59A_176322.pdf [Consulta 10 May 2019]
- Cómo se hace una evaluación de impacto ambiental. (2019). Recuperado de <https://ecosistemas.ovacen.com/evaluacion-impacto-ambiental/> [Consulta 10 May 2019]
- Los aparatos eléctricos que más contaminan. - Revertia. (2013). Recuperado de <https://revertia.com/es/los-aparatos-electricos-que-mas-contaminan/> [Consulta 10 May 2019]
- Los peligros de la basura electrónica. (2018). Recuperado de https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239 [Consulta 10 May 2019]
- Deily, Susan (2017). Peligros de las baterías de iones de litio | Techlandia. Recuperado de https://techlandia.com/peligros-baterias-iones-litio-lista_319702/ [Consulta 10 May 2019]

11. Annexos

11.1. Encuesta EMEF 2017

Qüestionari EMEF 2017

0. CONFIRMAR DADES DE L'INDIVIDU Confirmar que es parla amb la persona seleccionada de la mostra. Confirmar el municipi on es truca. Confirmar que el domicili és la residència habitual.	
SITUACIÓ LABORAL P1a. QUINA ÉS LA SEVA SITUACIÓ LABORAL? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> 1. treballa (actiu ocupat/ocupada) 2. està a l'atur (actiu en atur) 3. jubilat/da / pensionista 4. pre-jubilat/da </div> <div> 5. tasques de la llar (si edat < 65 anys) 6. estudiant 7. altres especificar _____ </div> </div> <p><i>FILTRE → Tothom excepte treballadors (P1a=1) i jubilats / pensionista /persones de 75 anys i més (P1a=3) P1a=3 i edat<75 o Pa1=2/4/5/6/7</i></p> P1b. LA SETMANA PASSADA VA TREBALLAR A CANVI D'UN SOU ENCARA QUE NOMÉS FOS UNA HORA? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>1. Sí (passeu a P2a i recodificar com actiu ocupat a P1a)</div> <div>2. No</div> </div> <p><i>FILTRE → jubilats / pensionista /persones de 65 a 74 anys (P1=3), pre-jubilats (P1=4), tasques de la llar (P1=5), estudiants (P1=6) i altres (P1=7) P1a=3 i edat<75 o P1a=4/5/6/7</i></p> P1c. LA SETMANA PASSADA ESTAVA SENSE FEINA I DURANT EL DARRER MES HA ESTAT FENT RECERCA ACTIVA D'UNA FEINA? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>1. Sí (recodificar com actiu en atur a P1a)</div> <div>2. No</div> </div>	
MOBILITAT P2a. AHIR (o el darrer dia laborable) VA SORTIR VOSTÈ DE CASA? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>1. Sí</div> <div>2. No → P2b. Per quin motiu no va sortir vostè de casa?</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; margin-left: 10px;"> 1. Malaltia, discapacitat 2. Va treballar/estudiar al domicili 3. Estava de vacances 4. Edat (jubilat...) 5. No vol contestar 6. No calia/no va voler sortir 98. Altres. Especificar _____ </div> <div style="margin-left: 10px; align-self: center;">} → P7</div> </div>	
DESPLAÇAMENTS <p><i>FILTRE → Només les persones que han sortit de casa</i></p> <p><i>DEFINICIÓ DESPLAÇAMENT → Per desplaçament s'entén un trajecte complet que es fa des d'un lloc (origen) fins a un altre (destinació) per qualsevol motiu i que pot fer-se caminant o fent servir un o més mitjans de transport.</i></p> P2c. QUANTS DESPLAÇAMENTS VA REALITZAR BÉ SIGUI CAMINANT O FENT SERVIR ALGUN MITJÀ DE TRANSPORT? <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100px;"></div> <p><i>FILTRE → Només per a ocupats (P1a=1) i recodificats(P1b=1) (P2c>7)</i></p> P2d. QUANTS D'AQUESTS DESPLAÇAMENTS VAN SER PER MOTIUS LABORALS? <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100px;"></div> <p><i>Si l'entrevistat respon 7 o menys desplaçaments per motius laborals passeu a la pregunta P3. FILTRE → Si l'entrevistat fa més de 7 desplaçaments per motius laborals passeu a la pregunta P2e.</i></p> P2e. ENS HA DIT QUE AHIR (o el darrer dia laborable) VA FER XX (recuperar de P2d) DESPLAÇAMENTS PROFESSIONALS. <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>P2e_1. HA INCLÒS EL DESPLAÇAMENT PER ANAR CAP A LA FEINA?</div> <div>1. Sí 2. No</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>P2e_2. HA INCLÒS EL DESPLAÇAMENT PER TORNAR DES DE LA FEINA?</div> <div>1. Sí 2. No</div> </div> P2f. ENS POT DIR, A MÉS, QUANTS DESPLAÇAMENTS VA FER PER MOTIU NO LABORAL, INCLOENT ELS DOS D'ANAR I TORNAR DE LA FEINA? <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100px;"></div> <p style="text-align: right;"><i>→ Preguntar per cada desplaçament seguint esquema de pregunta 3, afegint una casella per registrar en cada desplaçament també el lloc d'origen. DESPRÉS PASSEU A LA PREGUNTA P4</i></p>	

P3. ENS POT DIR, PER ORDRE, ELS DESPLAÇAMENTS QUE VA FER, INDICANT-NOS PRIMER, EL MOTIU; SEGON, EL LLOC; DESPRÉS, L'HORA D'INICI, ELS MINUTS I EL MITJÀ DE TRANSPORT DE CADA UN D'ELLS? (des del matí fins a la nit)

MOTIU	A ON	HORA D'INICI	TEMPS EN MINUTS	MITJÀ 1	MITJÀ 2	MITJÀ 3	OCUPACIÓ	APARCAMENT	ANTIGUITAT	COMBUSTIBLE

... (preveure espai fins a 16 desplaçaments)

Preguntar per ocupació del vehicle (nombre de persones que hi viatjaven incloent-se vostè) quan utilitza cotxe(conductor i acompanyant) / moto com a conductor. Preguntar per aparcament i antiguitat (si no sap els anys que té el vehicle preguntar les lletres de la matrícula) quan utilitza cotxe com a conductor/ moto com a conductor.

Ocupació i antiguitat només preguntar-ho la darrera vegada si hi ha més d'un mitja privat com a conductor en un mateix desplaçament.

Combustible es pregunta quan utilitza cotxe conductor

En acabar passeu a la pregunta P7

CODIFICACIÓ MOTIU

- | | |
|--|---|
| 1. Domicili | 12. Oci, diversió, espectacles, cinemes, restaurants, esports |
| 2. Tornada a hotel/casa d'altres | 13. Dinar, sopar, bar, restaurant (no oci) |
| 3. Treball | 14. Sense destinació fixe, passejar |
| 4. Estudis | 15. Segona residència |
| 5. Compres quotidianes | 16. Tenir cura d'alguna persona (gent gran nens...) |
| 6. Compres no quotidianes | 98. Altres motius. Especificar _____ |
| 7. Metge/hospital | |
| 8. Visita amic/familiar | |
| 9. Acompanyar/recollir/buscar persones | |
| 10. Gestions de treball | |

CODIFICACIÓ MITJÀ

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Caminant | 12. Cotxe com a conductor |
| 2. Autobús empresa | 13. Cotxe com acompanyant |
| 3. Autobús escolar | 14. Moto com a conductor |
| 4. Autocar | 15. Moto com acompanyant |
| 5. Autobús | 16. Furgoneta/ camió |
| 6. Metro | 17. Bici (bicicleta) |
| 7. Tramvia | 18. Cadira de rodes, scooter o vehicles per persones amb dificultats de mobilitat |
| 8. Ferrocarrils Generalitat (FGC) | 19. Patinet, segway o altres ginyes |
| 9. Renfe Rodalies | 98. Altres mitjans. Especificar _____ |
| 10. Renfe regional | |
| 11. Taxi | |

CODIFICACIÓ APARCAMENT COTXE/MOTO

- A. AL CARRER**
- SI
 - Pagant (zona blava, verda, altres colors)
 - Sense pagar o lliure (en plaça indicada, sobre la vorera, en doble fila; també zona residents, c/d gratuïta per l'hora, incloentdescampat)
 - No
- B. APARCAMENT D'INTERCANVI (EN UNA ESTACIÓ FERROVIÀRIA, AEROPORT, ESTACIÓ D'AUTOBUSOS, ETC.)**
- SI
 - Pagant
 - Sense pagar o lliure
 - No
- C. APARCAMENT RESERVAT EN DESTINACIÓ AL CARRER O SUBTERRANI (DESCAMPAT, PER A EMPLEATS, PER A CLIENTS...)**
- SI
 - Pagant
 - Sense pagar o lliure
 - No
- D. ALTRES**
- Propietat, lloguer, concessió
 - En pàrquing de pagament (per hores, minuts) fora de càrrega
 - No aparca, només para un moment
 - Altres. Especificar _____

FILTRE → Només per a ocupats (P1a=1) i recodificats (P1b=1) i motiu ≠(3,10)

P3L. VOSTÈ HA DIT QUE ÉS ACTIU/OCUPAT I NO INCLÒS CAP DESPLAÇAMENT PER MOTIUS LABORALS. AIXÒ ÉS CORRECTE?

- | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Si, perquè treballa a casa | 3. Si, estava de baixa | 97. No, no és correcte → CORREGIR P3 |
| 2. Si, era el seu dia de festa o tenia vacances | 98. Altres. Especificar _____ | 99. NS/NC |

ALTA MOBILITAT LABORAL

FILTRE → Només en cas de més de 7 desplaçaments relacionats amb la feina.

P4. QUINA ÉS LA SEVA PROFESSIONI:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Taxistes i xofers d'automòbils | 4. Distribució amb bicicleta/motocicleta/ciclomotor (missatgers, repartidors) |
| 2. Conductors d'autobús/autocar/tren | 5. Representants de comerç i tècnics de vendes |
| 3. Conductors camió/furgoneta | 6. Tècnics de manteniment i reparacions |
| | 98. Altres. Especificar _____ |
| | 99. NS/NC |

FILTRE → Si P4=3

P4a. A QUIN SECTOR PERTANY LA SEVA EMPRESA? _____

FILTRE → Només quan no queda clar el mitja de transport en la pregunta anterior. Representants, tècnics de manteniment i reparacions i altres. (si P4= 5, 6 o 8)

P5. QUIN TIPUS DE MITJÀ UTILITZA MAJORITÀRIAMENT EN LA SEVA FEINA:

- | | | |
|---|---------------------|-------------------------------|
| 1. A peu | 4. Cotxe | 98. Altres. Especificar _____ |
| 2. Transport públic (metro, bus, taxi com a usuari, etc.) | 5. Furgoneta/camion | |
| 3. Moto | 6. Bici (bicicleta) | |

FILTRE → Només en cas de més de 7 desplaçaments relacionats amb la feina **P6. UTILITZA EL MATEIX MITJÀ DE TRANSPORT PER TREBALLAR QUE PER ACCEDIR AL LLOC DE TREBALL?**

1. Sí 2. No

VALORACIÓ TRANSPORT PÚBLIC

FILTRE → Per a totes les persones entrevistades

P7. VALORI DE 0 (molt malament) a 10 (molt bé) ELS SEGÜENTS ELEMENTS REFERENTS AL TRANSPORT PÚBLIC:

- A. La quantitat d'oferta de transport públic per desplaçar-se per dins del seu municipi.
B. La quantitat d'oferta de transport públic per desplaçar-se cap a altres municipis de la zona.
C. La qualitat global de la xarxa de transport públic en el seu municipi, entre 0 (molt dolenta) i 10 (molt bona).
D. El preu del transport públic en relació als serveis oferts, entre 0 (molt car) i 10 (molt barat).

ÚS DE MITJANS DE TRANSPORT

FILTRE → Per a totes les persones entrevistades

P8a. AVALUÏ, SI US PLAU, L'ÚS QUE VOSTÈ FA DELS SEGÜENTS MITJANS DE TRANSPORT

1. Mai/Quasi mai 2. A vegades 3. Sovint 4. Quasi sempre 5. Sempre

	P8a Ús	P9 Satisfacció
A. Anar a peu	<input type="text"/>	<input type="text"/>
B. Anar en bicicleta	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C. Anar en cotxe com a conductor	<input type="text"/>	<input type="text"/>
D. Anar en cotxe com a acompanyant	<input type="text"/>	<input type="text"/>
E. Anar en moto	<input type="text"/>	<input type="text"/>
F. Anar en transport públic en general: metro, bus, tren, tramvia o taxi	<input type="text"/>	<input type="text"/>

FILTRE → Per a les persones que han contestat que sí utilitzen transport públic (P8a F>1)

P8b. DEL SEGÜENT LLISTAT DIGUI'NS QUINS TRANSPORTS PÚBLICS UTILITZA:

1. Sí/ A vegades/Sovint/Quasi sempre/ Sempre 2. No/Mai/Quasi mai

	P8b Ús	P9 Satisfacció
G. Metro	<input type="text"/>	<input type="text"/>
H. Bus urbà de Barcelona (TMB)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
I. Bus urbà d'altres municipis (NO TMB)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
J. Bus interurbà	<input type="text"/>	<input type="text"/>
K. Tramvia	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L. Renfe rodalies	<input type="text"/>	<input type="text"/>
M. Renfe regional/mitja distància	<input type="text"/>	<input type="text"/>
N. FGC	<input type="text"/>	<input type="text"/>
O. Taxi	<input type="text"/>	<input type="text"/>

FILTRE → Només per a usuaris (P8a A-F>1 i P8b G-O=1)

P9. AVALUÏ LA SATISFACCIÓ QUE LI PRODUÏX CADASCUN D'AQUESTS MITJANS EN UNA ESCALA DE 0 (gens) A 10 (total).

MOTIUS D'ÚS I NO ÚS DELS MODES DE TRANSPORT

FILTRE → Només si usa el transport públic (P8(G-O)=1)

P10. QUAN UTILITZA EL TRANSPORT PÚBLIC PER DESPLAÇAR-SE PER QUIN MOTIU EL FA SERVIR I NO UN MITJÀ DE TRANSPORT PRIVAT?

3 motius o respostes màxim (no llegir-les)

1. És més barat que el cotxe
2. És més ràpid que el cotxe
3. No dispo de cotxe
4. No tinc permís de conduir
5. És difícil aparcar allà on vaig
6. Vaig en transport públic perquè no tinc altre remei
7. Vaig més tranquil
8. Tinc menor risc d'accidents
9. Prefereixo el transport públic al transport privat
10. És més còmode
11. Per consciència ambiental/no contaminar o contaminar menys
98. Altres: Especificar _____

FILTRE → Només si usa el cotxe o la moto ($P8(C-E) \geq 2$)

P11. QUAN UTILITZA EL [cotxe, moto] PER DESPLAÇAR-SE PER QUIN MOTIU EL FA SERVIR I NO UN MITJÀ DE TRANSPORT PÚBLIC? Preguntar per un únic mitjà, escollint el que tingui un nivell d'ús més alt en P9 entre les opcions C, D, E. En cas d'empat, escollir moto.

3 motius o respostes màxim (no llegir-les)

1. És més barat que el transport públic
2. És més ràpid que el transport públic
3. Desconec el transport públic
4. És fàcil aparcar allà on vaig
5. És més còmode
6. Vaig en cotxe/moto perquè tinc més llibertat
7. Vaig en cotxe/moto perquè no tinc altre remei
8. Faig moltes gestions/acompanyo gent
9. Manca d'oferta/Oferida inadequada del transport públic
10. Perquè em porten
11. Prefereixo el transport privat al transport públic
12. Manca d'aparcaments d'intercanvi a les estacions de rodalies per deixar el cotxe i agafar el transport públic
98. Altres: Especificar _____

FILTRE → Només si usa la bicicleta ($P8B \geq 2$)

P12. QUAN UTILITZA LA BICICLETA PER DESPLAÇAR-SE, PER QUIN MOTIU LA FA SERVIR I NO UN ALTRE MITJÀ DE TRANSPORT?

3 motius o respostes màxim (no llegir-les)

1. És més barat
2. És més ecològic, sostenible
3. És més ràpid
4. És més saludable
98. Altres: Especificar _____

P13. QUANTS VEHICLES HI HA A LA SEVA RESIDÈNCIA HABITUAL?

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| A. Cotxe | <input type="text"/> |
| B. Moto/ciclomotor | <input type="text"/> |
| C. Bicicleta | <input type="text"/> |
| D. Altres. Especificar _____ | <input type="text"/> |

FILTRE → Només per a aquelles persones que en disposen de cotxe a la llar ($P13A > 0$)

P14. EN EL SEU DOMICILI, ON APARCA HABITUALMENT EL COTXE QUE UTILITZA?

FILTRE → Només per a aquelles persones que en disposen de moto a la llar ($P13B > 0$)

P15. EN EL SEU DOMICILI, ON APARCA HABITUALMENT LA MOTO QUE UTILITZA?

- | | |
|---|---|
| A. AL CARRER | |
| 1. Si | A. Pagant (zona blava, verda, altres colors) |
| | B. Sense pagar o lliure (en plaça indicada, sobre la vorera, en doble fila; també zona residents, o'd gratuïta per l'hora, l'indòsdescampat) |
| 2. No | |
| B. APARCAMENT D'INTERCANVI (EN UNA ESTACIÓ FERROVIÀRIA, AEROPORT, ESTACIÓ D'AUTOBUSOS, ETC.) | |
| 3. Si | A. Pagant |
| | B. Sense pagar o lliure |
| 4. No | |
| C. APARCAMENT RESERVAT EN DESTINACIÓ AL CARRER O SUBTERRANI (DESCAMPAT, PER A EMPLEATS, PER A CLIENTS...) | |
| 5. Si | A. Pagant |
| | B. Sense pagar o lliure |
| 6. No | |
| D. ALTRES | |
| | 7. Propietat, lloguer, concessió |
| | 8. En pàrquing de pagament (per hores, minuts) fora de calçada |
| | 9. No aparca, només para un moment |
| | 98. Altres. Especificar _____ |

P16. DISPOSA VOSTÈ D'ALGUN D'AQUESTS BITLLETS, TARGETES O ABONAMENTS DE TRANSPORT PÚBLIC?

- | | |
|---|-------------|
| A. T-10 | 1. Si 2. No |
| B. T-Mes, T-Trimestre, T-50/30, T-70/30 | 1. Si 2. No |
| C. T-Jove, Abonaments per família nombrosa/ monoparental, T-Mes aturats | 1. Si 2. No |
| D. T-Rosa, T-4, abonaments per pensionistes o persones amb disminució | 1. Si 2. No |
| E. Altres. Especificar _____ | |

FILTRE → Si tenen T-10 ($P16=1$)

P16A. Cada quan compra una T-10?

- | | | |
|----------------------|------------------------|------------------|
| 1. Cada setmana | 3. Un cop al mes | 5. Un cop l'any |
| 2. Cada 2/3 setmanes | 4. Un cop cada 3 mesos | 98. Altres _____ |

FILTRE → Només per a actius ocupats ($P1a=1$)

11.2. Documentación del Hardware

Se incluye la pequeña descripción ofrecida por el vendedor y un enlace para adquirir el producto. No todos los componentes fueron comprados por internet, por lo que los precios pueden variar respecto su precio en tienda que aparece en el trabajo.

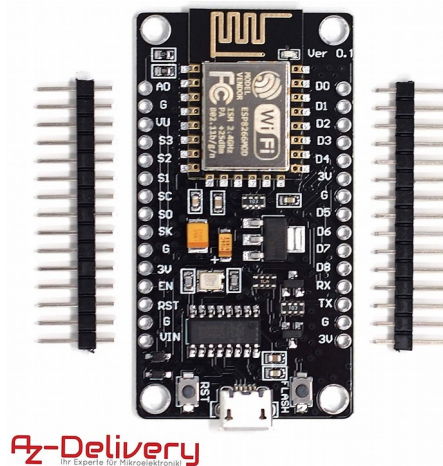
11.2.1. Placa NodeMCU

Descripción

NodeMCU LoLin V3, otra placa de desarrollo ESP clásica. Equipado con un procesador ESP8266-12E de alto rendimiento de Espressif con WLAN integrada, este controlador ofrece una introducción sencilla al desarrollo de IoT. Debido a la amplia distribución y la gran comunidad, hay muchos ejemplos de aplicaciones disponibles. Esta placa es programable a través del ArduinoIDE con C, así como el SDK de Espressif en LUA. ¡Hay diferentes versiones de firmware del fabricante disponibles! Con chipset CH340 y ligeramente más ancho que el módulo Amica V2

Datos técnicos

NodeMCU V2 módulo de Amica
 3.3V microcontrolador
 WLAN estándar 802.11b / g / n
 PWM / I2C / SPI / UART
 Antena de PCB a bordo



Enlace de referencia https://www.amazon.de/AZDelivery-NodeMCU-ESP8266-ESP-12E-Development/dp/B07K24YQZQ/ref=sr_1_fkmr0_1?keywords=nodemcu%2Baz%2Blieferesp8266&qid=1559099569&s=gateway&sr=8-1-fkmr0&th=1

11.2.2. Módulo GPS

Descripción

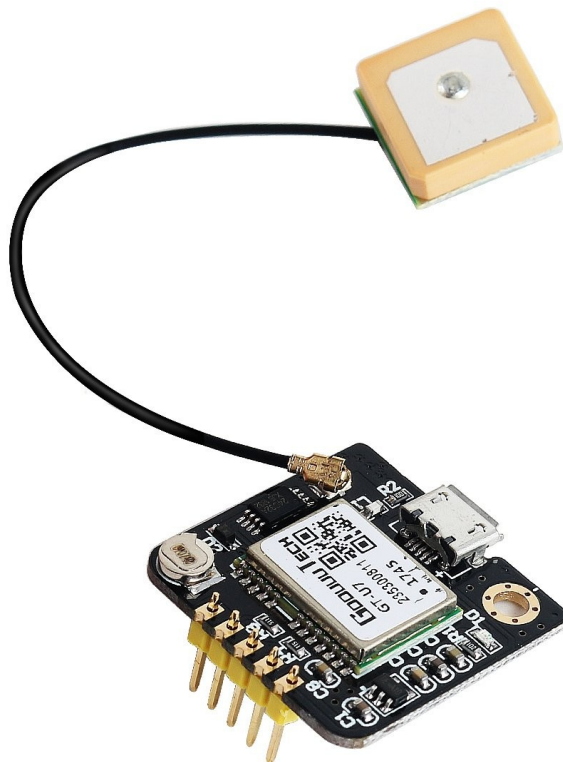
GT U7 módulo principal módulo GPS con el chip Ublox New séptima generación original, el *software* es compatible con Neo 6 m.

El módulo Mini GT U7, que tiene una excelente visualización de la ventana, alta sensibilidad, bajo consumo de energía, su sensibilidad de seguimiento extremadamente alta extiende considerablemente la posición de la cubierta.

Con una interfaz USB, puede utilizar el cable de datos del teléfono directamente para el efecto de posicionamiento en su computadora.

USB conectado directamente a la computadora, con la computadora anfitriona que posee la función del puerto serie, no es necesario un módulo externo; envíe la antena activa del puerto serie IPX.

Con la interfaz de antena IPEX puede la distribución estándar de la antena activa schnell.



Módulo GPS con antena cerámica

Enlace de referencia

https://www.amazon.de/MakerHawk-Mikrocontroller-GPS-kompatibel-Navigation-Satellitenpositionierung/dp/B0783H7BLW/ref=sr_1_1_sspa?keywords=gps+bee+arduino&qid=1559121423&s=gateway&sr=8-1-spons&psc=1

11.2.3. Lector de SD

Descripción

USO Instala una estación de medición con tarjeta de memoria externa o usa tu Arduino como reproductor MP3.

COMPATIBILIDAD El módulo es compatible con el catálogo tarjeta SD Arduino original. Para eso son necesarias las siguientes configuraciones: D13->SCK, D12->MISO, D11->MOSI, D8->CS

ACCESO SPI Por favor, ten en cuenta que al usar múltiples dispositivos SPI sólo uno de éstos puede estar activo.

EXCELENTE CALIDAD Materiales de alta calidad, un trabajo meticuloso y revisiones constantes hacen que estos módulos sean absolutamente seguros y fiables.

TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN El módulo es adecuado para proyectos de 3.3V y 5V.

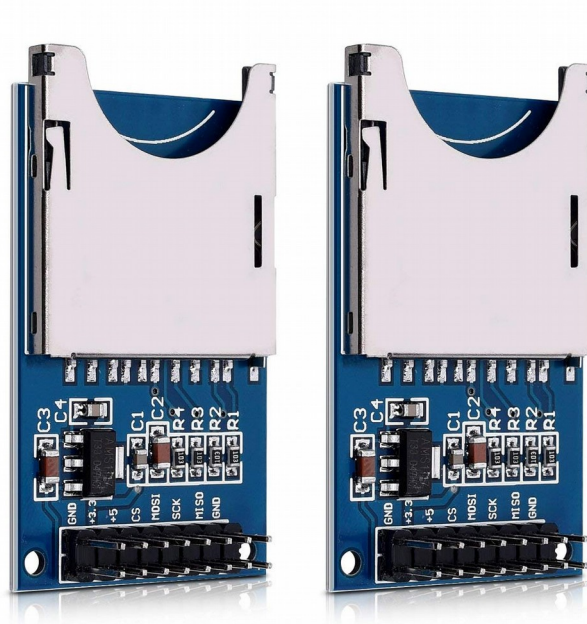
DATOS TÉCNICOS

Voltaje de alimentación: 3.3 V, 5 V

Salida Pin SD SPI: MOSI, MISO, SCK y CS

Medidas: 46 x 30 MM

Contacto: 6 pines / pin pitch: 2.54 MM



Lector de SD para Arduino

Enlace de referencia

https://www.amazon.es/kwmobile-M%C3%B3dulos-Tarjeta-Arduino-microcontroladores/dp/B06XH3FCN1/ref=sr_1_6?keywords=Arduino+Sd+Card+Shield&qid=1559156085&s=gateway&sr=8-6

11.2.4. Cargador LiPo USB

Descripción

Este estupendo cargador se basa en el chip MCP73831T. La placa dispone de un mini conector USB, una toma para conectar una batería LiPo de 3,7V y una toma para alimentar el circuito. Mediante un jumper en forma de pad, puedes seleccionar la potencia de carga (100mA o 500mA). Dispone de una conexión para un LED indicador de carga externa.

Esta placa sólo es válida para usar con una sola batería de tipo LiPo de 3,7V (no se puede conectar varias baterías en serie ya que se dañaría el chip).

Junto con una batería (no incluida), se puede usar para hacer que nuestro proyecto o robot sea totalmente autónomo!

Documentación:

Esquema

Archivos Eagle

Datasheet (MCP73831T)



Cargador LiPo USB

Enlace de referencia

<https://www.amazon.es/Cargador-de-bater%C3%ADa-LiPo-USB/dp/B00L7YZVO8>

11.2.5. Batería de litio de 900mAh

Descripción

Batería Lipo (Polymer Lithium) de alta calidad y capacidad de 900mAh. Este tipo de baterías proporciona una fuente de alimentación muy eficiente, a la vez que son muy ligeras y soportan altos picos de corriente.

Incorpora un conector tipo JST para conectarlos directamente a un circuito o al cargado USB también disponible en opción en nuestra web.

Este tipo de baterías no se pueden cargar con cargadores convencionales debido a su propio funcionamiento. Dese usarse un cargador especial para éste tipo de baterías. Recomendamos el uso del cargador USB/DC con MCP73831T disponible opcionalmente en nuestra web.

Características:

- Tipo: 1C (3.7V)
- Descarga: <8% por mes
- Temperatura de funcionamiento: -25 a 60C
- Dimensiones: 50mm (largo) x 30mm (ancho) x 6mm (espesor)
- Peso: 18.5g



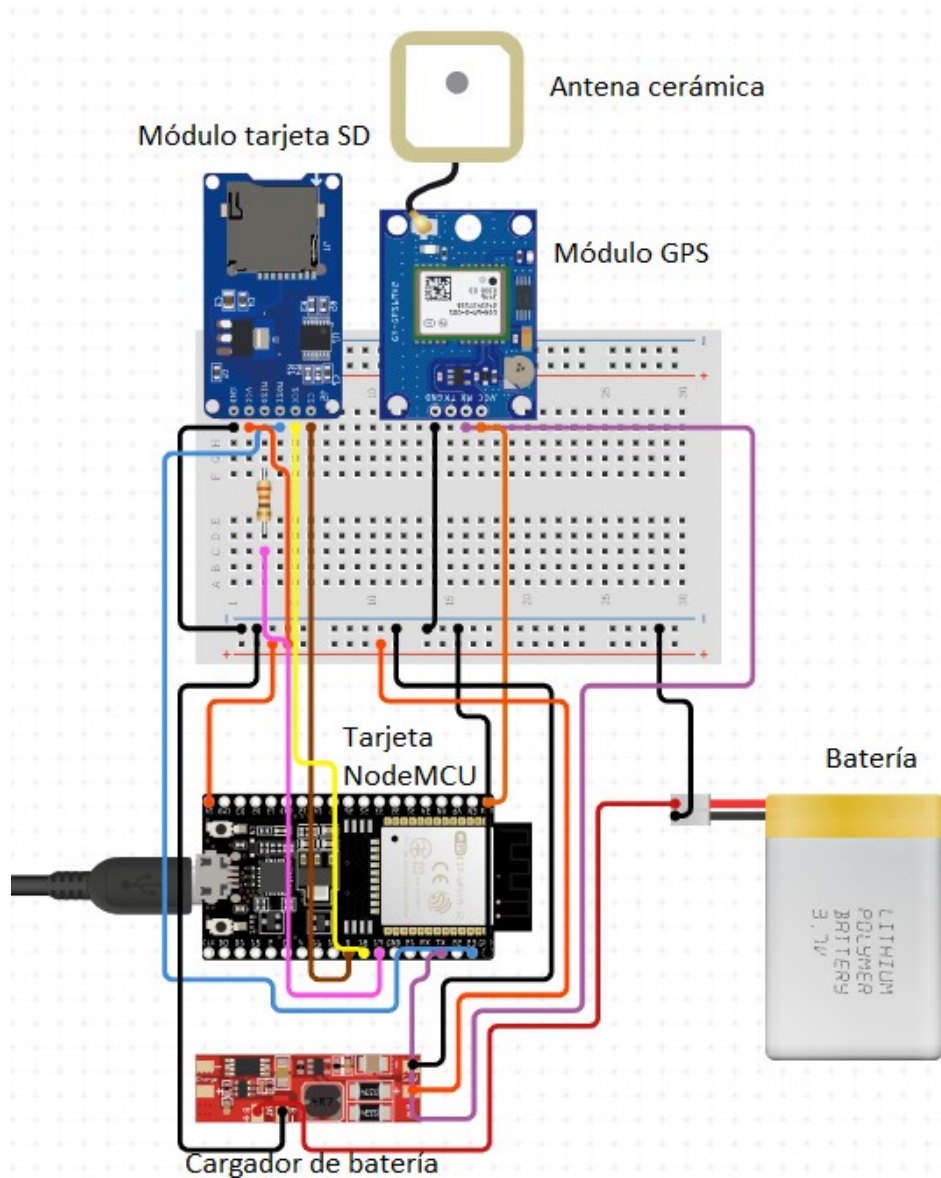
Batería de litio

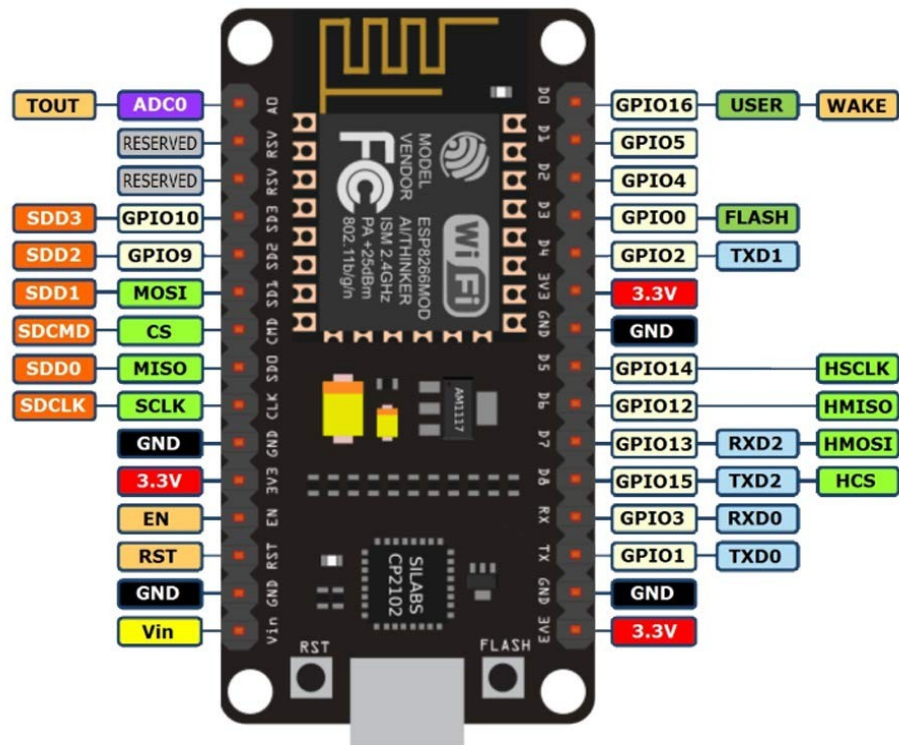
Enlace de referencia

<https://tienda.bricogeek.com/baterias-lipo/342-bateria-lipo-900-mah.html>

11.3. Diagramas del prototipo

Se recopilan aquí las dos imágenes que hacen referencia a los pines de la placa NodeMCU y a la forma de conectar todos los elementos. Ambas figuras no se encuentran numeradas ya que son imágenes que ya han aparecido previamente, se repiten aquí para ofrecer mayor claridad.





11.4. *Scripts* arduino

En este anexo se muestran primeramente los tres *scripts* mencionados en el apartado 5, citando su autor y la fuente del código. El propósito de ello es permitir comparar los *scripts* que se utilizaron como base con el definitivo utilizado en el prototipo, el cual se muestra también en este anexo.

11.4.1. *Script*: “Basic ESP8266 WiFi frame capture”

Fuente: <https://github.com/kalanda/esp8266-sniffer/blob/master/src/main.cpp>

Autor: Kalanda, 2018. Es posible contactar con él a través de su portal <https://kalanda.com/>

```
extern "C" {
    #include <user_interface.h>
}

#define DATA_LENGTH      112
#define TYPE_MANAGEMENT   0x00
#define TYPE_CONTROL      0x01
#define TYPE_DATA         0x02
#define SUBTYPE_PROBE_REQUEST 0x04

struct RxControl {
    signed rssi:8; // signal intensity of packet
    unsigned rate:4;
    unsigned is_group:1;
    unsigned:1;
    unsigned sig_mode:2; // 0:is 11n packet; 1:is not 11n packet;
    unsigned legacy_length:12; // if not 11n packet, shows length of packet.
    unsigned damatch0:1;
    unsigned damatch1:1;
    unsigned bssidmatch0:1;
    unsigned bssidmatch1:1;
    unsigned MCS:7; // if is 11n packet, shows the modulation and code used (range from 0 to
76)
    unsigned CWB:1; // if is 11n packet, shows if is HT40 packet or not
    unsigned HT_length:16; // if is 11n packet, shows length of packet.
    unsigned Smoothing:1;
    unsigned Not_Sounding:1;
    unsigned:1;
    unsigned Aggregation:1;
    unsigned STBC:2;
    unsigned FEC_CODING:1; // if is 11n packet, shows if is LDPC packet or not.
    unsigned SGI:1;
    unsigned rxend_state:8;
    unsigned ampdu_cnt:8;
    unsigned channel:4; //which channel this packet in.
    unsigned:12;
};

struct SnifferPacket{
```

```

struct RxControl rx_ctrl;
uint8_t data[DATA_LENGTH];
uint16_t cnt;
uint16_t len;
};

static void showMetadata(SnifferPacket *snifferPacket) {

    unsigned int frameControl = ((unsigned int)snifferPacket->data[1] << 8) + snifferPacket->data[0];

    uint8_t version    = (frameControl & 0b000000000000000011) >> 0;
    uint8_t frameType   = (frameControl & 0b00000000000001100) >> 2;
    uint8_t frameSubType = (frameControl & 0b0000000011110000) >> 4;
    uint8_t toDS        = (frameControl & 0b0000000100000000) >> 8;
    uint8_t fromDS      = (frameControl & 0b0000001000000000) >> 9;

    // Only look for probe request packets
    if (frameType != TYPE_MANAGEMENT ||
        frameSubType != SUBTYPE_PROBE_REQUEST)
        return;

    Serial.print("RSSI: ");
    Serial.print(snifferPacket->rx_ctrl.rssi, DEC);
    Serial.print(" Ch: ");
    Serial.print(wifi_get_channel());

    char addr[] = "00:00:00:00:00:00";
    getMAC(addr, snifferPacket->data, 10);
    Serial.print(" Peer MAC: ");
    Serial.print(addr);

    uint8_t SSID_length = snifferPacket->data[25];
    Serial.print(" SSID: ");
    printDataSpan(26, SSID_length, snifferPacket->data);

    Serial.print(54);
    Serial.println();
}

/**
 * Callback for promiscuous mode
 */
static void ICACHE_FLASH_ATTR sniffer_callback(uint8_t *buffer, uint16_t length) {
    struct SnifferPacket *snifferPacket = (struct SnifferPacket*) buffer;
    showMetadata(snifferPacket);
}

static void printDataSpan(uint16_t start, uint16_t size, uint8_t* data) {
    for(uint16_t i = start; i < DATA_LENGTH && i < start+size; i++) {
        Serial.write(data[i]);
    }
}

static void getMAC(char *addr, uint8_t* data, uint16_t offset) {

```

```
sprintf(addr, "%02x:%02x:%02x:%02x:%02x:%02x", data[offset+0], data[offset+1],  
data[offset+2], data[offset+3], data[offset+4], data[offset+5]);  
}
```

```
#define CHANNEL_HOP_INTERVAL_MS 1000  
static os_timer_t channelHop_timer;
```

```
/**  
 * Callback for channel hopping  
 */  
void channelHop()  
{  
    // hoping channels 1-14  
    uint8 new_channel = wifi_get_channel() + 1;  
    if (new_channel > 14)  
        new_channel = 1;  
    wifi_set_channel(new_channel);  
}
```

```
#define DISABLE 0  
#define ENABLE 1
```

```
void setup() {  
    // set the WiFi chip to "promiscuous" mode aka monitor mode  
    Serial.begin(115200);  
    delay(10);  
    wifi_set_opmode(STATION_MODE);  
    wifi_set_channel(1);  
    wifi_promiscuous_enable(DISABLE);  
    delay(10);  
    wifi_set_promiscuous_rx_cb(sniffer_callback);  
    delay(10);  
    wifi_promiscuous_enable(ENABLE);  
  
    // setup the channel hopping callback timer  
    os_timer_disarm(&channelHop_timer);  
    os_timer_setfn(&channelHop_timer, (os_timer_func_t *) channelHop, NULL);  
    os_timer_arm(&channelHop_timer, CHANNEL_HOP_INTERVAL_MS, 1);  
}  
  
void loop() {  
    delay(10);  
}
```

11.4.2. Script: “TinyGPS Example”

Fuente: https://github.com/dragino/Arduino-Profile-Examples/blob/master/libraries/Dragino/examples/GPS/tinygps_example/tinygps_example.ino

Autor: Dragino Technology Co., 2017

```
/*  
  
  tinygps_example for LoRa/GPS Shield  
  Support Devices: LoRa/GPS Shield + Arduino UNO  
  
  Example sketch showing how to get GPS data from LoRa GPS Shield with TinyGPS  
  library.  
  
  Hardware Connection:  
  1/ Arduino UNO + LoRa GPS Shield . if use other Arduino board, please check the  
  softserial connection and modify the code  
  2/ Wire GPS_RXD to Arduino D3  
  3/ Wire GPS_TXD to Arduino D4  
  4/ Remove jumper in GPS_RXD/GPX_TXD 1x3 pin header  
  a photo for hardware configuration is here: http://wiki.dragino.com/index.php?title=File:Uno\_gps\_softwareserial.png  
  
  External Library Require:  
  TinyGPS: http://arduiniiana.org/libraries/tinygps/  
  
  Test:  
  1/ Connect hardware and install necessary  
  2/ Upload the Sketch to Arduino, open the monitor and check the result.  
  result example screen shot: http://wiki.dragino.com/index.php?title=File:Uno\_gps\_softwareserial\_1.png  
  
  modified 21 Mar 2017  
  by Edwin Chen <support@dragino.com>  
  Dragino Technology Co., Limited  
  */  
  
#include <SoftwareSerial.h>  
#include <TinyGPS.h>  
  
TinyGPS gps;  
SoftwareSerial ss(3, 4); // Arduino TX, RX ,  
  
static void smartdelay(unsigned long ms);  
static void print_float(float val, float invalid, int len, int prec);  
static void print_int(unsigned long val, unsigned long invalid, int len);  
static void print_date(TinyGPS &gps);
```

```
static void print_str(const char *str, int len);

void setup()
{
    // initialize both serial ports:
    Serial.begin(9600); // Serial to print out GPS info in Arduino IDE
    ss.begin(9600); // SoftSerial port to get GPS data.
    while (!Serial) {
        ;
    };
    Serial.println("Minitor Dragino LoRa GPS Shield Status");
    Serial.print("Testing TinyGPS library v. ");
    Serial.println(TinyGPS::library_version());
    Serial.println();
    Serial.println("Sats HDOP Latitude Longitude Fix Date Time Date Alt
Course Speed Card Distance Course Card Chars Sentences Checksum");
    Serial.println("
(deg) (deg) Age
--- from GPS ---- ---- to London ---- RX RX Fail");
    Serial.println("-----");
    Serial.println("-----");
}

void loop()
{
    float flat, flon;
    unsigned long age, date, time, chars = 0;
    unsigned short sentences = 0, failed = 0;
    static const double LONDON_LAT = 51.508131, LONDON_LON = -0.128002;

    print_int(gps.satellites(), TinyGPS::GPS_INVALID_SATELLITES, 5);
    print_int(gps.hdop(), TinyGPS::GPS_INVALID_HDOP, 5);
    gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
    print_float(flat, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 10, 6);
    print_float(flon, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 11, 6);
    print_int(age, TinyGPS::GPS_INVALID_AGE, 5);
    print_date(gps);
    print_float(gps.f_altitude(), TinyGPS::GPS_INVALID_F_ALTITUDE, 7, 2);
    print_float(gps.f_course(), TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 7, 2);
    print_float(gps.f_speed_kmph(), TinyGPS::GPS_INVALID_F_SPEED, 6, 2);
    print_str(gps.f_course() == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? "*** " :
TinyGPS::cardinal(gps.f_course()), 6);
    print_int(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0xFFFFFFFF : (unsigned
long)TinyGPS::distance_between(flat, flon, LONDON_LAT, LONDON_LON) / 1000,
0xFFFFFFFF, 9);
    print_float(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE :
TinyGPS::course_to(flat, flon, LONDON_LAT, LONDON_LON),
TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 7, 2);
    print_str(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? "*** " :
TinyGPS::cardinal(TinyGPS::course_to(flat, flon, LONDON_LAT, LONDON_LON)), 6);
```

```

gps.stats(&chars, &sentences, &failed);
print_int(chars, 0xFFFFFFFF, 6);
print_int(sentences, 0xFFFFFFFF, 10);
print_int(failed, 0xFFFFFFFF, 9);
Serial.println();

smartdelay(1000);
//delay(1000);
}

static void smartdelay(unsigned long ms)
{
    unsigned long start = millis();
    do
    {
        while (ss.available())
        {
            //ss.print(Serial.read());
            gps.encode(ss.read());
        }
    } while (millis() - start < ms);
}

static void print_float(float val, float invalid, int len, int prec)
{
    if (val == invalid)
    {
        while (len-- > 1)
            Serial.print('*');
        Serial.print(' ');
    }
    else
    {
        Serial.print(val, prec);
        int vi = abs((int)val);
        int flen = prec + (val < 0.0 ? 2 : 1); // . and -
        flen += vi >= 1000 ? 4 : vi >= 100 ? 3 : vi >= 10 ? 2 : 1;
        for (int i=flen; i<len; ++i)
            Serial.print(' ');
    }
    smartdelay(0);
}

```

```
static void print_int(unsigned long val, unsigned long invalid, int len)
{
    char sz[32];
    if (val == invalid)
        strcpy(sz, "*****");
    else
        sprintf(sz, "%ld", val);
    sz[len] = 0;
    for (int i=strlen(sz); i<len; ++i)
        sz[i] = ' ';
    if (len > 0)
        sz[len-1] = ' ';
    Serial.print(sz);
    smartdelay(0);
}

static void print_date(TinyGPS &gps)
{
    int year;
    byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
    unsigned long age;
    gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths,
    &age);
    if (age == TinyGPS::GPS_INVALID_AGE)
        Serial.print("***** ");
    else
    {
        char sz[32];
        sprintf(sz, "%02d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d ",
            month, day, year, hour, minute, second);
        Serial.print(sz);
    }
    print_int(age, TinyGPS::GPS_INVALID_AGE, 5);
    smartdelay(0);
}

static void print_str(const char *str, int len)
{
    int slen = strlen(str);
    for (int i=0; i<len; ++i)
        Serial.print(i<slen ? str[i] : ' ');
    smartdelay(0);
}
```


11.4.3. Script: SD

Únicamente se muestra la parte del código relevante para observar cómo se ha tratado el uso de la tarjeta SD, ya que el *script* es más extenso y cumple unas funciones muy diferentes al proyecto actual.

Fuente: <https://www.instructables.com/id/SD-Card-Module-With-ESP8266/>

Autor: Fernando Koyanagi, 2018

```
//biblioteca responsável pela comunicação com o Cartão SD
#include <SD.h>
//biblioteca responsável pela comunicação com o sensor DHT22
#include <DHT.h>
// pino de dados do DHT será ligado no D6 do esp
#define DHTPIN D2
// tipo do sensor
#define DHTTYPE DHT22
// construtor do objeto para comunicar com o sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//pino ligado ao CS do módulo SD Card
#define CS_PIN D8;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Inicializando o cartão SD...");

  //inicializa o objeto para comunicarmos com o sensor DHT
  dht.begin();

  // verifica se o cartão SD está presente e se pode ser inicializado
  if (!SD.begin(CS_PIN)) {
    Serial.println("Falha, verifique se o cartão está presente.");
    //programa encerrado
    return;
  }
  //se chegou aqui é porque o cartão foi inicializado corretamente
  Serial.println("Cartão inicializado.");
}
```

11.4.4. *Script* prototipo

Script final utilizado en el prototipo. Se puede observar en qué pines está conectado cada módulo, y la forma como se han combinado los diferentes *scripts* en los que se ha basado el proyecto. Se han añadido comentarios utilizando el símbolo “//” para facilitar la comprensión del resultado, respetando también la mayoría de comentarios escritos en los *scripts* originales.

```
#include <SoftwareSerial.h>
//inicio cabecera gps
#include <TinyGPS.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
TinyGPS gps;
SoftwareSerial ss(5, 4);
File logFile;

static void smartdelay(unsigned long ms);
static void print_float(float val, float invalid, int len, int prec);
static void print_int(unsigned long val, unsigned long invalid, int len);
static void print_date(TinyGPS &gps);
static void print_str(const char *str, int len);
//fin cabecera gps

extern "C" {
//inicio cabecera sniffer
#include <user_interface.h>
}
#define DATA_LENGTH          112
#define TYPE_MANAGEMENT       0x00
#define TYPE_CONTROL          0x01
#define TYPE_DATA              0x02
#define SUBTYPE_PROBE_REQUEST 0x04

struct RxControl {
    signed rssi:8; // signal intensity of packet
    unsigned rate:4;
    unsigned is_group:1;
    unsigned:1;
    unsigned sig_mode:2; // 0:is 11n packet; 1:is not 11n packet;
    unsigned legacy_length:12; // if not 11n packet, shows length of packet.
    unsigned damatch0:1;
    unsigned damatch1:1;
    unsigned bssidmatch0:1;
    unsigned bssidmatch1:1;
    unsigned MCS:7; // if is 11n packet, shows the modulation and code used (range from 0 to
76)
    unsigned CWB:1; // if is 11n packet, shows if is HT40 packet or not
    unsigned HT_length:16; // if is 11n packet, shows length of packet.
    unsigned Smoothing:1;
    unsigned Not_Sounding:1;
    unsigned:1;
    unsigned Aggregation:1;
```

```

unsigned STBC:2;
unsigned FEC_CODING:1; // if is 11n packet, shows if is LDPC packet or not.
unsigned SGI:1;
unsigned rxend_state:8;
unsigned ampdu_cnt:8;
unsigned channel:4; //which channel this packet in.
unsigned:12;
};

struct SnifferPacket{
    struct RxControl rx_ctrl;
    uint8_t data[DATA_LENGTH];
    uint16_t cnt;
    uint16_t len;
};
//fin cabecera sniffer

static void showMetadata(SnifferPacket *snifferPacket) {                                     //
funcion sniffer

    unsigned int frameControl = ((unsigned int)snifferPacket->data[1] << 8) + snifferPacket-
>data[0];

    uint8_t version      = (frameControl & 0b0000000000000011) >> 0;
    uint8_t frameType     = (frameControl & 0b0000000000001100) >> 2;
    uint8_t frameSubType  = (frameControl & 0b0000000011110000) >> 4;
    uint8_t toDS          = (frameControl & 0b0000000100000000) >> 8;
    uint8_t fromDS        = (frameControl & 0b0000001000000000) >> 9;

    if (frameType != TYPE_MANAGEMENT ||
        frameSubType != SUBTYPE_PROBE_REQUEST)
        return;
    logFile = SD.open("17dec18.txt", FILE_WRITE);
    if (logFile) {
        logFile.print(snifferPacket->rx_ctrl.rssi, DEC); //RSSI
        logFile.print(",");
        char addr[] = "00:00:00:00:00:00";
        getMAC(addr, snifferPacket->data, 10);
        logFile.print(addr); //Peer MAC
        logFile.print(",");
        float flat, flon;
        unsigned long age, date, time, chars = 0;
        unsigned short sentences = 0, failed = 0;
        gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
        print_float(flat, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 10, 6); //Lat
        logFile.print(",");
        print_float(flon, TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE, 11, 6); //Lon
        logFile.print(",");
        print_date(gps);
        logFile.println();
        logFile.close();
    }
    else {
        Serial.println("Error al abrir el archivo");
    }
}

```

```
//fin funcion sniffer

/**
 * Callback for promiscuous mode
 */
static void ICACHE_FLASH_ATTR sniffer_callback(uint8_t *buffer, uint16_t length) {
    struct SnifferPacket *snifferPacket = (struct SnifferPacket*) buffer;
    showMetadata(snifferPacket);
}

static void printDataSpan(uint16_t start, uint16_t size, uint8_t* data) {
    for(uint16_t i = start; i < DATA_LENGTH && i < start+size; i++) {
        Serial.write(data[i]);
    }
}

static void getMAC(char *addr, uint8_t* data, uint16_t offset) {
    sprintf(addr, "%02x:%02x:%02x:%02x:%02x:%02x", data[offset+0], data[offset+1],
data[offset+2], data[offset+3], data[offset+4], data[offset+5]);
}

#define CHANNEL_HOP_INTERVAL_MS 1000
static os_timer_t channelHop_timer;

/**
 * Callback for channel hopping
 */
void channelHop()
{
    // hopping channels 1-14
    uint8 new_channel = wifi_get_channel() + 1;
    if (new_channel > 14)
        new_channel = 1;
    wifi_set_channel(new_channel);
}

#define DISABLE 0
#define ENABLE 1
static void smartdelay(unsigned long ms)
{
    unsigned long start = millis();
    do
    {
        while (ss.available())
            gps.encode(ss.read());
    } while (millis() - start < ms);
}

static void print_float(float val, float invalid, int len, int prec)
{
    if (val == invalid)
    {
        while (len-- > 1)
            logFile.print('*');
        logFile.print(' ');
    }
    else

```

```

{
    logfile.print(val, prec);
    int vi = abs((int)val);
    int flen = prec + (val < 0.0 ? 2 : 1); // . and -
    flen += vi >= 1000 ? 4 : vi >= 100 ? 3 : vi >= 10 ? 2 : 1;
    for (int i=flen; i<len; ++i)
        logfile.print(' ');
}
smartdelay(0);
}

static void print_int(unsigned long val, unsigned long invalid, int len)
{
    char sz[32];
    if (val == invalid)
        strcpy(sz, "*****");
    else
        sprintf(sz, "%ld", val);
    sz[len] = 0;
    for (int i=strlen(sz); i<len; ++i)
        sz[i] = ' ';
    if (len > 0)
        sz[len-1] = ' ';
    logfile.print(sz);
    smartdelay(0);
}

static void print_date(TinyGPS &gps)
{
    int year;
    byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
    unsigned long age;
    gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths, &age);
    if (age == TinyGPS::GPS_INVALID_AGE)
        logfile.print("***** ");
    else
    {
        char sz[32];
        sprintf(sz, "%02d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d ",
            month, day, year, hour, minute, second);
        logfile.print(sz);
    }
    print_int(age, TinyGPS::GPS_INVALID_AGE, 5);
    smartdelay(0);
}

static void print_str(const char *str, int len)
{
    int slen = strlen(str);
    for (int i=0; i<len; ++i)
        logfile.print(i<slen ? str[i] : ' ');
    smartdelay(0);
}

void setup() {
    ESP.wdtDisable();
    // inicio watchdog

```

```

ss.begin(9600);
Serial.begin(115200);
//Se muestra por pantalla que se va a iniciar la comunicación con la SD
Serial.println("comienza comunicación");
//Se muestra por el monitor si la comunicación se ha establecido correctamente
//o ha habido algún tipo de error.
if (!SD.begin(15)) {
    Serial.println("fallo comunicación");
    return;
}
Serial.println("buena comunicación");

delay(10);
wifi_set_opmode(STATION_MODE);
wifi_set_channel(1);
wifi_promiscuous_enable(DISABLE);
delay(10);
wifi_set_promiscuous_rx_cb(sniffer_callback);
delay(10);
wifi_promiscuous_enable(ENABLE);

// setup the channel hopping callback timer
os_timer_disarm(&channelHop_timer);
os_timer_setfn(&channelHop_timer, (os_timer_func_t *) channelHop, NULL);
os_timer_arm(&channelHop_timer, CHANNEL_HOP_INTERVAL_MS, 1);
ESP.wdtEnable(1000);
//fin watchdog
}
void loop() {
    ESP.wdtFeed();
    smartdelay(1000); //el smartdelay es para que el GPS no
    //sume errores
    delay(0); //da tiempo al watchdog y se reinicia menos
}

```

11.4.5. Estudio RSSI

Sin paredes entre el prototipo y el *smartphone*:

Smartphone 0,2 m:

RSSI: -31 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -30 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -29 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -30 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone 2m:

RSSI: -67 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -66 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -63 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -63 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone 5m:

RSSI: -72 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -72 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -71 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -72 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone a 8m:

RSSI: -77 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -78 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone 10m:

RSSI: -80 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -79 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Con pared de cristal entre ambos:

Smartphone a 4m:

RSSI: -93 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -94 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -96 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -92 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone a 3m:

RSSI: -93 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -91 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone a 2m:

RSSI: -91 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -92 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

Smartphone a 1m:

RSSI: -85 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -87 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -86 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

RSSI: -85 Ch: 13 Peer MAC: 1c:91:48:05:f0:91 SSID: Jarvis

